

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es crear un sistema automático de cobro para supermercados, con la intención de agilizar el proceso de la compra actual. Para ello, se ha diseñado un sistema integrado en el carro de la compra que permite, a través de una aplicación móvil o de un lector de código de barras láser, que el cliente vaya escaneando los productos a medida que va comprando. De esta manera se evita que éste tenga que descargar los productos para proceder al pago y luego tener que embolsarlos. Como innovación, también se ha introducido un sistema de control por peso en los carritos, para hacer más seguro el sistema.

Se ha dotado al carrito de autonomía energética y se ha habilitado para que pueda utilizar la información adquirida, y que interactúe, mediante una pantalla táctil, con el usuario, o bien comunicarse de manera inalámbrica con otros equipos.

Finalmente, se ha implementado un prototipo del sistema diseñado que simula el funcionamiento del sistema final, de cara a lo que el cliente ve. El alcance de la demostración va desde la creación de la aplicación móvil para escanear los productos, hasta la creación de una balanza para simular el sistema de pesado del carrito, el cual ensambla el software informático de compra con la balanza de pesado de productos.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. PREFACIO	7
1.1. Motivación.....	7
2. INTRODUCCIÓN	9
2.1. Objetivos del proyecto	9
2.2. Alcance del proyecto	9
3. ESTUDIO DE PRECEDENTES	11
3.1. Búsqueda en Internet	11
3.2. Visitas	20
4. ESPECIFICACIONES BÁSICAS	21
5. DISEÑO CONCEPTUAL	23
5.1. Generación de conceptos.....	23
1. RFID (<i>Radio Frequency Identification Device</i>)	23
2. Código de barras	25
3. Vending	29
4. Identificación por imagen de los productos	31
5.2. Evaluación de las alternativas	32
5.3. Elección del sistema	36
5.4. Sistemas de seguridad	36
1. Sistema de control por peso	36
2. Sistema de notificación de estado del carrito.....	41
3. Controles aleatorios (muestreo).....	42
4. Cámaras de seguridad	43
5. Vigilantes de seguridad.....	43
6. Barreras físicas.....	43
7. Arcos antirrobo	44
5.5. Solución definitiva	44

6. DISEÑO DE DETALLE	47
6.1. Lógica y algorítmica del proceso de compra	47
6.2. Sistema de control de la compra	51
Especificaciones	51
Morfología del Sistema de control de la compra	52
Descripción de los componentes	53
6.3. Puesto de cobro	62
Especificaciones	62
Morfología del Puesto de cobro	62
Descripción de los componentes	64
6.4. Posible control de la compra a determinados clientes	69
Especificaciones	69
Funcionamiento	70
6.5. Software	71
Aplicación móvil	71
Software de la pantalla del carrito	73
7. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	75
7.1. Especificaciones	75
7.2. Alcance	75
7.3. Hardware	76
Diseño	76
Implementación	82
7.4. Software	93
Diseño	93
Implementación	98
8. ESTUDIO ECONÓMICO	109
8.1. Presupuesto del proyecto	109
8.2. Estimación económica del sistema final	110
9. PLANIFICACIÓN	113
10. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	115
CONCLUSIONES	117

AGRADECIMIENTOS	119
------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	121
---------------------	------------

10.1. Referencias bibliográficas.....	121
---------------------------------------	-----

10.2. Bibliografía complementaria	123
---	-----

1. Prefacio

1.1. Motivación

La elaboración de este proyecto se puede justificar por ser una manera de afrontar algunas de las necesidades que el cliente cree que se tendrían que mejorar en el proceso de compra actual. Un ejemplo de estas necesidades es el tiempo de espera en la cola de un supermercado, debido a que es suficientemente importante como para intentar una reducción del mismo. El cliente, mientras espera, se siente insatisfecho al estar perdiendo tiempo que podría invertir en otras cosas y el descontento se acentúa a medida que el tiempo de espera es mayor.

Se ha confiado en la tecnología para resolver este problema y, de esta manera, realizar un proyecto que satisface las necesidades de muchos clientes y del cual se cree que podría salir un buen negocio. Se ha llegado a una solución innovadora que se cree que tiene posibilidades de implantarse en la estructura comercial actual. A la implantación del sistema le acompañaría una reducción del personal, sobretudo en el número de personal de caja. Como consecuencia, con esta disminución de costes se recuperaría la inversión inicial realizada y, además, se conseguiría aumentar la capacidad de clientes/hora y disminuir el número de máquinas registradoras y su espacio utilizado.

Desde un punto de vista más personal, el proyecto me llamó la atención ya que combina creatividad y desarrollo tecnológico, algo que me pareció muy interesante. Además, es un proyecto cubre muchas áreas de conocimiento, desde la mecánica hasta la electrónica, pasando por la informática o la electricidad.

Desde un principio sorprendió la gran cantidad de ideas sobre soluciones posibles que surgieron, pero no era fácil llegar a una solución final que abarcara todo. Algo que ha permitido desarrollar la capacidad de valorarlas, agruparlas y finalmente unirlas en una única solución.

Además, el proyecto ofrecía muchas posibilidades para desarrollar nuevos conocimientos, y al final así ha sido, ya que se ha creado por primera vez una aplicación móvil, se ha aprendido a programar el Arduino y a utilizar el programa Visual Studio, con el cual se ha creado una aplicación para Windows.

2. Introducción

2.1. Objetivos del proyecto

El objeto del proyecto es el diseño de la parte electrónica e informática de un sistema de cobro automático para supermercados. Se desarrollará un dispositivo integrado en el carro de la compra que permita la elaboración de la lista de compra a medida que se va realizando, así como su posterior envío al terminal de pago. Este cambio hace posible el cobro automático, sin necesidad de descargar los productos al llegar a la caja, con lo que se pretende una agilización del proceso de pago y de la compra en general.

El proyecto se ha dividido en dos partes, la parte mecánica y la electrónica. La primera la realizará mi compañero de proyecto Carlos Darder, y se trata del diseño estructural del carrito, así como la integración en él de los diversos componentes electrónicos del sistema. Un sistema electrónico que será diseñado en la otra parte del proyecto, en la cual además también se diseñará el software que permitirá la interacción entre los diversos componentes a modo de simulación.

En el presente documento se realizará ésta segunda parte, por lo tanto, objetivo de este proyecto en concreto es diseñar, en todo su conjunto, el sistema electrónico informático que permita realizar el cobro automático.

Una vez realizado el diseño del sistema real, el objetivo será la creación de un primer prototipo del sistema. Por lo tanto, se implementarán los diversos elementos del sistema y también se diseñará, a modo de simulación, un prototipo del software del sistema.

2.2. Alcance del proyecto

Para afrontar el problema, se realizó conjuntamente una primera fase de estudio del estado del arte y de análisis de las posibles soluciones existentes en la actualidad. Una vez decidido el sistema que se iba a diseñar, posteriormente cada uno se centró en su parte del proyecto aún siendo inevitable una cierta interacción entre las dos partes a lo largo de éste, por lo que se ha ido trabajando en paralelo en todo momento. En el presente documento se van a explicar:

- Una primera fase de estudio del arte para comprobar en qué punto se encuentran hoy en día los sistemas automáticos de cobro.
- Una comparación y selección entre las diferentes tecnologías y algorítmicas de compra que puedan cumplir las especificaciones fijadas. También se hará un estudio de los sistemas de seguridad aplicables a la alternativa escogida.
- Ya focalizando en la parte electrónica del proyecto, se realizará el diseño de detalle, en el cual se dividirá el sistema en dos grandes bloques: por un lado, el sistema de control de la compra (parte del carrito) y por otro, el puesto de cobro. Se elegirán los componentes que mejor se adecúen a las especificaciones y se explicará su funcionamiento e interconexión.
- Se implementará un primer prototipo del sistema de cobro automático, para así demostrar la viabilidad técnica de la solución adoptada. A excepción de la parte final de pago, se simulará todo el sistema en su conjunto, ya que se ha considerado que, al ser un método de compra innovador al que el cliente no está acostumbrado, sería de utilidad una demostración sobre su funcionamiento.
- Desglose de las actividades que se han llevado a cabo a lo largo del proyecto a través de un diagrama de Gantt, para así explicar cuál ha sido la planificación que se ha seguido durante estos meses de trabajo.
- Presupuesto del proyecto realizado, incluyendo las horas de trabajo y el coste material necesario para la implementación del prototipo. También se realizará una estimación económica de lo que costaría el proyecto en su conjunto si se quisiera instalar en un supermercado.
- Estudio de las consideraciones medioambientales y normativa que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el sistema automático de cobro.

3. Estudio de precedentes

3.1. Búsqueda en Internet

La revolución más importante en la historia de la venta de productos fue hace 40 años, cuando se escaneó el primer producto del mundo, un paquete de chicles Wrigley's, en un supermercado Marsh en Ohio. Desde ese momento, el modelo de codificación que más ha triunfado ha sido el código de barras. Actualmente dos millones de empresas en todo el mundo y 25.000 sólo en España lo usan para codificar sus productos.

En la actualidad, con las nuevas tecnologías, Internet, los *Smartphones*, los microcomputadores y todo el avance en informática y electrónica, se tiende cada vez más a la automatización. Por esta razón, las empresas luchan por implantar sistemas modernos en el punto venta y conseguir así un mayor número de ventas, hacerlo a un precio más bajo y con mayor disponibilidad de horarios. La tendencia actual del sistema de cobro en los supermercados apunta a que cada vez estarán más automatizados y requerirán menos personal.

A continuación se explicará algunas experiencias pioneras que se han llevado a cabo por parte de cadenas de supermercados alrededor del mundo y algunos de los modelos de cobro más modernos e innovadores que existen actualmente y que han incorporado diferentes empresas.



A todas horas

A todas horas [1] es una franquicia dedicada a la remodelación de locales medianos o pequeños para que puedan funcionar totalmente automáticos sin necesidad de personal.

Se basa en una serie de compartimentos robotizados que van dispensando los productos seleccionados por el cliente, que los va eligiendo a través de una pantalla táctil. Una vez acabada la compra, los productos salen por la bandeja de salida y el propio sistema facilita la cantidad de bolsas necesarias.



Fig. 3.1.1 – Mecanismo del sistema

Fuente: A todas horas



Fig. 3.1.2 – Establecimiento.

Fuente: A todas horas

La inversión mínima es de 34.900 euros según la página oficial de la empresa y se puede implantar en un local con un mínimo de 10m². Según la opinión de algunos empresarios que han invertido en esta tecnología, se ha podido observar que la rentabilidad de este negocio no es demasiado alta. Según la mayoría de los empresarios es prácticamente imposible llegar a amortizar la inversión inicial. La máquina tiene muchos fallos y bloqueos, por no decir que los productos delicados o susceptibles de romperse no se pueden añadir a los cajones. Por lo que de momento no hay noticia de ningún franquiciado al que le haya salido bien el negocio. Parte del problema de que la gente no compre con este sistema es que no ve el producto hasta que no lo ha comprado y pagado.



Este modelo de negocio es similar al de 'A todas horas'. Se basa en tener un local con muchas de las típicas máquinas expendedoras y que el usuario adquiera cualquier producto a través de las mismas. No es posible tener máquinas de cualquier producto pero sí que hay mucha variedad: máquinas tradicionales de snacks, máquinas de bebidas calientes, productos calientes como pizzas, máquinas de helados y otros productos fríos e incluso están disponibles máquinas de productos como preservativos, compresas, papel de fumar y pilas. [2]



La idea revolucionaria de esta empresa ha sido 'llevar los supermercados a las personas'. Surgió en Corea del Sur, que es el segundo país con más gente trabajando y donde el ritmo de vida es muy agitado. Tesco se dio cuenta de esta situación y ofreció a sus clientes una opción de hacer la compra sin tener que

La inversión mínima es de 34.900 euros según la página oficial de la empresa y se puede implantar en un local con un mínimo de 10m². Según la opinión de algunos empresarios que han invertido en esta tecnología, se ha podido observar que la rentabilidad de este negocio no es demasiado alta. Según la mayoría de los empresarios es prácticamente imposible llegar a amortizar la inversión inicial. La máquina tiene



Fig. 3.1.3 - Tienda virtual en el metro de Corea del Sur. Fuente: Oddculture.com

sacrificar más tiempo. En vez de tener un establecimiento o local en un sitio fijo, llevaron réplicas en formato papel de los estantes de un supermercado a otras partes. De esta manera, se pueden llevar los productos de manera virtual a cualquier lugar, como por ejemplo los pasillos de una parada de metro. Si algún producto llama la atención de una persona que pase por ahí, solamente tiene que escanear el código QR del artículo con una aplicación móvil gratuita y automáticamente se añade a un carrito de compra virtual. Una vez terminada la compra, ésta es enviada directamente al domicilio del cliente a la hora deseada. [3]



RAPTOR System (*Retail Application Prototype Testing of Operational Robotics*)

El RAPTOR System [4] es un prototipo capaz de leer códigos utilizando software de imagen y con capacidad visual de 360°. Utiliza 14 cámaras para identificar desde diferentes ángulos los productos y gracias a un software creado por la propia empresa ECRS, este sistema es capaz de detectar en que parte de la imagen está el código de barras para después realizar la lectura. Así que no utiliza el típico escáner de código de barras sino que necesita un tratamiento de la información visual inteligente.

Este prototipo no automatiza del todo el sistema de cobro e identificación pero agiliza mucho el proceso, dejando al empleado de caja todo el tiempo para empaquetar los productos o introducirlos en las bolsas. De esta manera se ahorra tiempo.



Fig. 3.1.4 – RAPTOR System de ECRS. Fuente: Web Armagpos

El problema de este sistema es que no se pueden pasar varios productos a la vez, sino, el software de reconocimiento no funciona adecuadamente. El usuario tiene que ir introduciendo los productos en la cinta transportadora de uno en uno cuando una señal

proyectada en la cinta se lo indica. Mientras se están pasando los productos, en el otro lado de la cinta el empleado de caja va introduciendo los que le llegan en sus respectivas bolsas con un sistema pensado para facilitar y agilizar esta tarea.



"Shopping Buddy" de IBM

Es un proyecto desarrollado en 2004 que fue probado por primera vez en un supermercado de Massachussets (*Stop & Shop*). Se basa en una computadora instalada en el carrito con un lector que detecta los productos equipados con RFID. Para personalizar la compra, el cliente tiene la opción de introducir una tarjeta personal configurada previamente, de esta manera el ordenador va enseñando ofertas relacionadas con los productos que habitualmente compra el cliente. [5]



Fig. 3.1.5 – Shopping Buddy.

Fuente: CoolestGadgets



"Shopping Navis Wagon" de Fujitsu, Jusco y Dai Nippon

Es un proyecto desarrollado a principios del 2006, similar al "Shopping Buddy" pero utiliza un lector manual en vez de uno incorporado a la pantalla, es decir, el cliente debe coger el lector y pasarlo sobre los productos del carrito para detectarlos. Incorpora una pantalla LCD y un lector RFID creados por Fujitsu que, combinados, permiten obtener toda la información que necesites sobre los productos de la tienda. [6]



Fig. 3.1.6 – Shopping Navis Wagon

Fuente: Engadget



The EXTRA METRO Group "Future Store"

También denominado "El supermercado del futuro" [7], fue realizado en el 2005 en Alemania por la cadena de supermercados METRO y la empresa del sector tecnológico IBM. La idea de este modelo de supermercado es que el cliente llegue al supermercado con la lista de la compra hecha y enviada por internet a la tienda. Una vez en el supermercado el carrito,

provisto de un pequeño ordenador va informando del recorrido que tiene que hacer el cliente para recoger todos los productos. El camino a seguir lo indica mediante unas flechas proyectadas en el suelo. Este supermercado también incluye cajas de auto-pago ya que utilizan la tecnología RFID para la detección de los productos a través de un arco al final de la compra.



Fig. 3.1.7 – METRO Group Future Store.

Fuentes: deepartmend.de / we-make-money-not-art.com



Woodman's Food Markets (Madison) 2013

En este supermercado lanzaron una aplicación móvil creada por *NCR corp* [8] que permitía a los consumidores utilizar su iPhone para escanear los productos mientras iban comprando. Los clientes también podían utilizar la aplicación para crear su lista de compra antes de ir a la tienda. Así se incrementan la velocidad, eficiencia y facilidad de las compras. Para efectuar el pago los clientes tienen habilitadas unas cajas de auto-servicio en las cuales escanean un código QR en sus teléfonos para transferir la información de la lista de compra.

Para confirmar que la lista de los productos escaneados coincide con los productos se lleva el cliente, se efectúa una comprobación del peso total. Los dependientes ayudan a los clientes ante cualquier discrepancia que detecte el sistema y responder a cualquier otra pregunta que tengan.



Fig. 3.1.8 – Establecimiento. Fuente:

theshelbyreport.com



Ridge IGA Supermarket in Snoqualmie, Washington

Otra aplicación móvil existente es la lanzada por QThru [9], que puede utilizarse tanto en teléfonos iPhone como Android. La novedad que presenta esta aplicación es que los clientes también pueden escanear códigos QR para pagar con una tarjeta de crédito guardada en la aplicación.

Por lo que hace a los productos pesados, si tú estás comprando tres manzanas sólo tienes que pesar los productos en una balanza digital y escanear un código QR con el teléfono y añadirlo a tu lista (no tienes que imprimir una etiqueta). La aplicación también ofrecía una sección de recetas desde la cual los consumidores podían añadir directamente a su lista de compra los ingredientes. Esto permitía a los clientes crear su lista desde casa, mandarla a la tienda y sólo tenían que ir a la tienda a recoger su pedido y pagar.

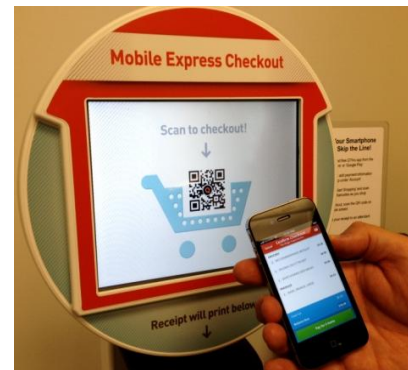


Fig. 3.1.9 – Sistema de pago.

Fuente: Seattle Times

Si los clientes escanean un producto que sólo puede venderse a adultos, la aplicación no dejará pagar sin que un empleado vaya a confirmar su edad. Entonces éste escanearía una tarjeta con un código UPC en ella para que el sistema permitiera hacer la operación.

QThru se introdujo en las tiendas Myer's y ofreció un descuento de 5\$ por cada 50\$ de compra por utilizar su aplicación. Con esta medida el número de usuarios aumentó radicalmente, además la compra media de los consumidores aumentó con el uso de esta tecnología. Para evitar los robos tenían un empleado encargado de comprobar aleatoriamente algunos de los carritos con el ticket de compra.



“Scan & Go” Carrefour

En 2010 Carrefour implantó como prueba piloto en su hipermercado de Alcobendas en sistema Scan & Go [10] y actualmente aún sigue en uso en algunos de sus hipermercados. Su funcionamiento es muy sencillo y lo único que requiere es la tarjeta de socio del Club Carrefour. Al entrar al supermercado, utilizando su tarjeta de socio, el cliente coge un lector de código de barras que dispone de una pequeña pantalla con el cual ira escaneando los

productos que desee comprar a medida que los vaya introduciendo en su carrito. En la pantalla el cliente verá el importe de cada artículo y el total de su compra, pudiendo controlar en todo momento lo que gasta. Además el lector se puede acomodar en un repositorio incorporado en todos los carritos para que no incomode al cliente durante la compra. Una vez finalizada, el cliente deberá acudir a unas cajas especiales para este sistema en las cuales, escaneando un código de barras que aparece en la caja, el sistema le indicará si su compra ha sido seleccionada de manera aleatoria para una revisión de un determinado número de artículos o, si de lo contrario, tiene luz verde para realizar el pago.



Fig. 3.1.10 – Sistema Scan & Go.

Fuente: Flickr.com

Walmart Walmart “Scan & Go” App

La cadena de hipermercados Walmart creó un sistema muy parecido al explicado anteriormente de Carrefour, aunque fue un poquito más lejos ya que los consumidores escaneaban sus productos con sus *Smartphones*. Los clientes únicamente tenían que instalar la aplicación Scan & Go [11] en sus móviles, elegir sus productos, escanearlos desde la aplicación y meterlos en sus carros. Una vez completada la compra, los consumidores debían escanear un código QR en su aplicación para transferir los datos de la compra a un terminal de auto pago en la salida, donde debían pagar su compra con tarjeta.

DECATHLON Decathlon

El sistema de autoservicio del Decathlon utiliza en unas máquinas en las cuales los clientes escanean sus productos. Posteriormente los introducen en un cubículo en el cual se desactivan las etiquetas RFID. Hay productos especiales que llevan una etiqueta electrónica especial que no se desactiva en estos cubículos. En el momento en el que el cubículo detecta la presencia de una de estas etiquetas se enciende una luz que avisa al supervisor y éste ayuda al cliente a quitar la etiqueta. Para el buen funcionamiento de este sistema de cobro, es necesaria la presencia de un empleado supervisor para las cajas de autoservicio. Además de encargarse de la vigilancia, también ayuda a los clientes a realizar la compra.

Una vez escaneados todos los productos el cliente puede efectuar el pago mediante tarjeta. Este sistema tiene un inconveniente que puede ser usado a beneficio del ladrón y es que las etiquetas se desactivan al entrar en el cubículo haya pagado o no el cliente.



Ikea

En Ikea existe un sistema en el que se utiliza una pistola lectora de códigos de barras para que el propio cliente sea el que escanee los productos que ha comprado. Sólo se puede utilizar para compras de menos de 20 artículos y sólo se admite pago con tarjeta. Está instalado un sistema para desactivar las etiquetas electrónicas una vez el cliente escanea el producto, aunque actualmente no está en uso ya que la mayoría de productos de Ikea no llevan etiqueta de seguridad. Hay un empleado para cada dos cajas que se dedica únicamente a la vigilancia, excepto en caso de que haya mucha gente que por rapidez lo hacen ellos.



Carrefour

Carrefour

Este sistema está implantado desde hace 2 años en algunos establecimientos de Carrefour. Consiste en un terminal de cobro situado a la salida, en cual hay un lector de código de barras fijo y un sistema de comprobación de peso. Al igual que en Ikea, su uso también está restringido a compras de menos de 15 artículos.

El cliente una vez ha finalizado la compra, debe acudir a esta caja y escanear sus productos con el lector de códigos. Una vez escaneado, debe depositarlo en una caja situada justo al lado, para que el producto sea pesado. Hasta que no ha depositado el producto en la caja, el sistema no deja escanear el siguiente, ya que el sensor de peso no detecta el producto. El sistema también se bloquea si escaneas una unidad de un producto y luego introduces más de una unidad en la caja o introduces un producto diferente del escaneado. En el caso de que se haya comprado más de una unidad de un artículo, existe una opción para introducir el número de unidades y no tener que escanearlas todas.

El problema más grande del sistema se produce cuando escaneas un producto e introduces otro en la caja de igual peso, ya que el sistema no lo puede detectar. Para evitar este tipo de hurto, hay un asistente que vigila cuatro cajas a la vez y si ve que algún cliente está intentando engañar al supermercado, puede paralizar su compra y llamarle la atención.

Para eso, es necesario formar al asistente de caja para que vigile las cuatro cajas que tiene a su cargo. El asistente tiene total control sobre lo que está pasando en cada caja y puede actuar mediante una pantalla táctil en los diferentes errores que puedan surgir. En una pantalla va viendo la lista de productos de las cuatro cajas automáticas y puede paralizar la compra en cualquier momento. Para comprar un producto que tiene prohibición de edad como por ejemplo alcohol, es necesaria la autorización del empleado que vigila.



Alcampo

Se han instalado sistemas de escaneo móvil que permiten a sus clientes hacer su lista de la compra escaneando con sus *Smartphones* los códigos de barra de los productos y finalmente pasando por una caja específica para realizar el pago. En ella, el cliente envía la lista de productos escaneados desde el móvil al terminal de pago, a través del escaneo de un código QR que inicia la acción. Finalmente el cliente efectúa el pago y abandona el establecimiento.



Fig. 3.1.11 – App móvil. Fuente: Google Play



IBM Self-Checkout



Es uno de los inventos de IBM que se comercializan actualmente. Consiste en una máquina de auto cobro adaptable a diferentes puntos de venta. Este modelo ofrece una seguridad configurable de tres niveles, basada en el peso, con tolerancias de seguridad ajustables, que ayudan a disminuir la intervención de los empleados. No es un modelo de tienda por sí mismo, pero ofrece la posibilidad a empresas particulares de obtener un modelo ya creado de máquina de auto cobro. [12]

Fig. 3.1.12 – Punto de venta

Fuente: IBM

3.2. Visitas

Por la proximidad de alguno de los establecimientos anteriormente comentados, se decidió realizar una visita para poder hablar con el personal e intentar obtener algo más de información sobre los principales problemas y virtudes de cada uno de los sistemas.

En Decathlon la conclusión que se sacó fue que el sistema no era seguro ante los hurtos y que había que colocar guardias de seguridad para vigilar las cajas. Principalmente, era muy típico el cambio de etiquetas de productos caros por otros de más baratos. Además, el problema se producía cuando había muchos clientes, ya que se ralentizaba el proceso de cobro debido a clientes que no sabían utilizar el sistema, por lo que debían ser los propios empleados los que ayudaran a los clientes.

En Ikea actualmente no está en funcionamiento el sistema de desactivación de las etiquetas de seguridad, ya que la mayoría de sus productos no las utilizan. Referente al funcionamiento del sistema, nos dijeron que sólo en casos de muchos clientes eran ellos los que escaneaban los productos para hacer el proceso más rápido. Otra diferencia respecto a los demás establecimientos es la limitación del sistema a usuarios con menos de 20 productos.

En Carrefour era el establecimiento que mejor funcionaba el sistema de cobro. Lo que se nos comentó por los empleados fue que en la segunda vez que un cliente usa su sistema, la eficacia del mismo se hace más evidente. Además, un dato curioso es que normalmente los niños y los extranjeros suelen ser los que mejor lo utilizan (según los encargados del Carrefour). La explicación que nos dieron es que el sistema es muy guiado, y la gente está poco acostumbrada a leer y a seguir unas instrucciones rigurosamente. En cambio los niños, sí se fijan en lo que les indica la máquina y utilizan correctamente el sistema. Por otra parte, los extranjeros tienen más facilidad para usarlo ya que, aparte de que está en diversos idiomas, en otros países existen sistemas similares están más acostumbrados. A pesar de eso, los usuarios más habituales son personas mayores que acuden cada día supermercado y una vez adaptados al sistema se aprovechan de sus facilidades. Por último, se nos comentó que el principal problema surgía los sábados, cuando hay mucha gente en las cajas normales, ya que muchos clientes acuden a estas cajas automáticas por equivocación y al no saber utilizarlas se produce atasco.

4. Especificaciones básicas

La adversa coyuntura económica de los últimos años ha provocado una evolución en el comercio minorista. La importante competitividad en éste sector se ha convertido en un estímulo para muchos establecimientos, que apuestan por la creatividad y la innovación tecnológica para diferenciarse de sus competidores. Las empresas buscan en la tecnología mejorar el servicio a sus clientes y conseguir que éstos salgan lo más satisfechos posibles de sus establecimientos. Para ello, deben ser conscientes de los aspectos que más valoran los consumidores e intentar potenciarlos.

Productos	Variedad de productos Variedad de marcas Calidad Presentación	Vendedores	Amabilidad Formación Personal suficiente Tiempos de espera nulos Confianza
Precios	Buenos precios Buenas ofertas		
Establecimientos	Proximidad Tamaño Limpieza Luminosidad Horario Comodidad	Servicios adicionales	Entrega a domicilio Financiación pago con tarjeta Caja rápida Devoluciones Aparcamiento

Tabla 3.2.1 – Aspectos que valoran los usuarios de un supermercado

En azul se han remarcado aquellos aspectos en los cuales se puede incidir mediante el nuevo sistema de cobro automático. Una vez conocidas cuales son las necesidades y aspectos que más valoran los consumidores y aquellos factores que se cree que se pueden mejorar, ya se pueden determinar las especificaciones para el sistema de cobro que se va a diseñar.

- *Automático*: que sea un sistema que funcione por sí mismo, sin intervención del personal del establecimiento. El cliente debe poder realizar todo el proceso de la compra él mismo.
- *Seguro*: la pérdida desconocida supone un problema grave para muchas empresas y una de las causas es la forma en que se tengan diseñados o se ejecuten

determinados procedimientos, los cuales pueden inhibir o facilitar los hurtos. Por eso se tratará de diseñar un sistema que sea lo más seguro posible, es decir, que mantenga o disminuya el nivel de hurtos actual (1-2 % de la facturación).

- *Rápido*: es importante tener en cuenta que vivimos en una sociedad que de cada vez aprecia más el tiempo libre y que toda innovación ofrecida en los puntos de venta que les permita ahorrar tiempo es probable que sea del agrado del consumidor. Por eso se desea incrementar la media actual de 20 artículos por minuto de las cajas actuales.
- *Fácil uso*: cuando se haga el diseño del sistema se debe tener en cuenta las capacidades del consumidor final, ya que al fin y al cabo éste será el que dictaminará el éxito o el fracaso del sistema diseñado. Por esto, no se debe caer en el error de introducir sistemas que, al final, por su complejidad, hagan que los clientes tarden aun más en realizar sus compras.
- *Económicamente viable*: será determinante a la hora de que un supermercado lo implante. A partir éste, se empezarán a valorar otros aspectos. Hay que tener en cuenta que a pesar de la inversión inicial, se prevé un beneficio debido a una reducción de personal que variará en función de las magnitudes del establecimiento.
- *Implantación sencilla*: la introducción del sistema no debe implicar grandes cambios en el sistema de producción, sobre todo por parte de los proveedores. Es decir, en el etiquetado de los productos o en las tolerancias de los pesos de los productos.
- *Cómodo*: aparte de la facilidad de uso del sistema, la comodidad es un factor muy importante. Por eso se desea que el usuario no tenga que sacar del carrito los artículos para realizar el pago.

Ahora que ya se han expuesto las especificaciones generales, ya se puede pasar al diseño conceptual, dónde se generarán las diversas alternativas teniendo en cuenta las especificaciones previamente expuestas. Una vez en el diseño de detalle, ya se determinarán más detalladamente, para cada uno de los subsistemas, las especificaciones debe cumplir.

5. Diseño conceptual

5.1. Generación de conceptos

Una vez planteadas las especificaciones que ha de cumplir nuestro sistema, se ha hecho un estudio de las diferentes alternativas para abordar de manera satisfactoria los requisitos. A continuación se explicará en qué consiste cada una de ellas, así como sus posibles variantes, ventajas y desventajas.

1. RFID (*Radio Frequency Identification Device*)

Funcionamiento General

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología de captura e identificación automática de información contenida en etiquetas electrónicas (tags o transponders). Cuando estas etiquetas entran en el área de cobertura de un lector RFID, éste envía una señal para que la etiqueta le transmita la información almacenada en su memoria, habitualmente un código de identificación. Una de las claves de esta tecnología es que la recuperación de la información contenida en la etiqueta se realiza vía radiofrecuencia y sin necesidad de que exista contacto físico o visual (línea de vista) entre el dispositivo lector y las etiquetas, aunque en muchos casos exige una cierta proximidad de esos elementos.

En el caso concreto que se está tratando, las etiquetas se deberían colocar en cada producto, de manera que cuando se llegara al final de la compra, el cliente simplemente debería pasar por un arco detector. Estos arcos permitirían detectar los productos sin sacarlos del carro, gracias a la tecnología RFID. Por lo tanto, además, el cliente podría guardar los productos durante la compra.

Entonces, el funcionamiento sería tan fácil como entrar en el establecimiento, coger los productos deseados y, finalmente pasar por los arcos magnéticos sin sacar la compra del carro. El importe se calcularía a partir de la información recibida de las etiquetas, el cliente pagaría y se iría.

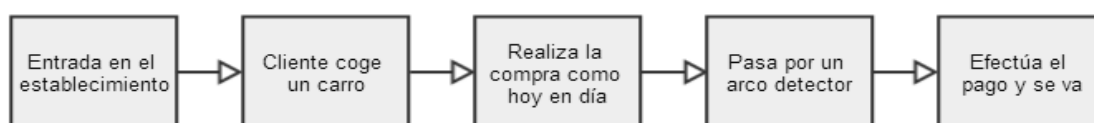


Fig. 5.1.1 – Diagrama de flujo

Variantes

Pago automático mediante tarjeta cliente

Esta variante se basa en el sistema previamente explicado, pero con el factor añadido de que el usuario debería disponer de una tarjeta cliente. Ésta sería como una etiqueta electrónica más que, al pasar por el arco magnético, identificaría al cliente. En ella también estaría almacenado el número de cuenta del cliente, de la cual se descontaría el importe de la compra automáticamente.

Pago en puesto de cobro

Esta variante está pensada para que no sea necesario disponer de una tarjeta cliente para comprar. En este caso, el cliente después de pasar por el arco magnético se encontraría con un terminal de pago en el cual vería reflejado el importe a pagar. Una vez efectuado el pago, se abrirían unas barreras de seguridad que permitirían al cliente salir del establecimiento.

Sistema RFID integrado en el carrito

Esta alternativa es la más que más diverge de las otras. En este caso el sistema de identificación por radiofrecuencia estaría integrado en el carrito. Es decir, habría una serie de antenas situadas en diversos puntos estratégicos del carrito que permitirían identificar los productos en su interior (las antenas realizarían la misma función que el arco magnético en las otras variantes). Otra novedad sería que en el carrito habría una pequeña pantalla que serviría de interfaz con el usuario. En ella vería los productos comprados, así como el precio total a pagar y una vez finalizada la compra el cliente podría realizar el pago en el mismo carrito mediante tarjeta de crédito. A la salida del supermercado habría un arco magnético que pitaría en caso de que el cliente no hubiera efectuado el pago previamente.

Ventajas e inconvenientes

Como ventajas de la tecnología RFID estarían la facilidad de uso que ofrecería al usuario, ya que el método de compra sería igual que el actual a diferencia del pago final, que sería más rápido. Por lo tanto, el sistema contaría con la aceptación por parte del usuario sin ningún problema. El sistema sería muy fiable ya que la tecnología está ya desarrollada y es fiable, con esto se quiere decir que difícilmente habría problemas de lectura. Por último, con este

sistema, se tendría un control absoluto e instantáneo del stock en el supermercado, con lo que se podría hacer una reposición de las estanterías más eficiente y veloz, y no se perderían ventas por falta de abastecimiento.

Como inconvenientes estarían que las etiquetas podrían ser arrancadas y al pasar por los arcos magnéticos éstos no detectarían los productos y el cliente podría hurtar. Por otro lado, estaría el problema del etiquetado, ya que actualmente los productos utilizan la identificación por código de barras. De esta manera se obligaría a los proveedores a cambiar el tipo de etiquetado, o a etiquetar los productos de nuevo una vez en el supermercado. Éste sería un problema bastante importante si no se estableciera la tecnología RFID como la estándar y los productos vinieran directamente con etiquetas electrónicas de los proveedores. Pero el principal problema radicaría en el coste económico de esta tecnología, ya que las etiquetas electrónicas actualmente tienen un precio de entre 10 y 20 céntimos, con lo cual habría un incremento general en los precios de los productos. Con los productos de un cierto valor, igual el problema no sería tan grave, pero para los productos más baratos, el sistema sería inviable.

2. Código de barras

Funcionamiento general

Con este sistema de compra el cliente se encargaría de hacer él mismo la lectura de los códigos de barras de los productos a medida que fuera comprando. De ésta manera, se suprimiría el actual paso por caja, dónde se escanean uno a uno los productos, y por lo tanto, las colas que ahí se generan. Este sistema presenta varias variantes que serán explicadas posteriormente, pero el funcionamiento básico sería el que se detallará a continuación.

El cliente llegaría al establecimiento y adquiriría un carrito, juntamente con una unidad lectora de código de barras. La compra se realizaría como en un establecimiento convencional, es decir, el cliente a medida que va pasando por los pasillos va cogiendo los productos que desea. La única diferencia estaría en que el cliente debería escanear los productos antes de introducirlos en el carrito. La lectura, como se explicará más adelante, puede realizarse de diferentes maneras, dependiendo de la tecnología. El almacenamiento de los productos escaneados también presentaría diversas alternativas. En el carrito se colocaría una pantalla donde el cliente vería reflejados los productos escaneados y serviría

para interactuar con éste. Una vez terminada la compra, el cliente se dirigiría a la salida, dónde efectuaría el pago y posteriormente retornaría el carro.

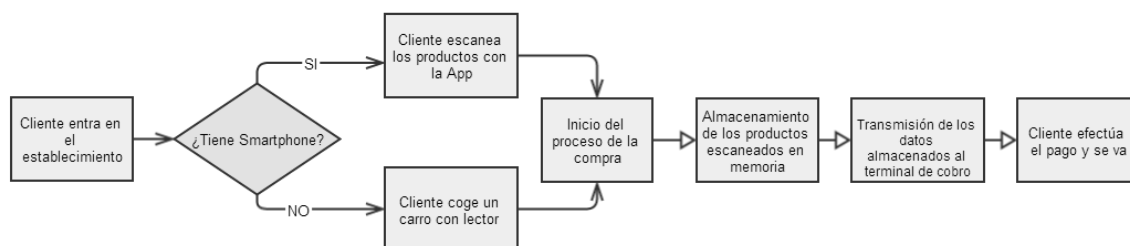


Fig. 5.1.2 – Diagrama de flujo

Variantes

Unidad lectora

- A. *Lector fijo al carrito*: esta alternativa consiste en un lector de código de barras situado justo al lado de la pantalla o incluso incorporado en ella, de manera que los usuarios deberían acercar los productos al lector para escanearlos. Éste sistema sería un problema para los productos pesados ya que algunos clientes tendrían dificultades para levantarlos y colocarlos de manera correcta para que se leyera el código de barras.
- B. *Lector con unión flexible al carrito (cable)*: esta opción está pensada para facilitar el escaneado de los productos a los usuarios, ya que al contrario que en el anterior caso, los usuarios pueden acercarse a los productos con el lector para escanearlos. El carrito llevaría una sujeción para el lector cuando no fuera necesaria su utilización. En resumen, se aumentaría la comodidad a la hora de escanear los productos, pero la fragilidad del sistema sería mayor ya que un mal uso del escáner podría provocar un desgaste en las conexiones del cable. Además tendría una mayor exposición a golpes o caídas.
- C. *Lector inalámbrico*: probablemente sería la opción más cómoda para el usuario pero la más compleja de implementar, la más cara y la más susceptible al robo. Además la alimentación debería ser mediante pilas o baterías, y habría que pensar en la recarga de éstos aparatos.

- D. *Aplicación móvil*: ésta sería probablemente la opción más innovadora y con vistas de futuro. Consiste en una aplicación móvil gratuita, que los clientes del supermercado deberían descargarse en su *Smartphone*. Para empezar la compra, los clientes deberían identificarse en la aplicación y posteriormente conectarse al carrito (vía Bluetooth o WiFi) que hubieran cogido. A medida que el cliente escaneara los productos con la aplicación, la información se iría enviando al carrito, en el cual se verían reflejados los productos escaneados a través de la pantalla que llevaría incorporada.

Almacenamiento de datos

Se plantearon tres opciones para el almacenamiento de los datos, teniendo en cuenta la base de datos general del supermercado y los datos específicos de las compras de los usuarios.

- A. *En las unidades lectoras*: una opción sería almacenar los datos de la compra de cada cliente en las propias memorias de las unidades lectoras, ya sea una pistola lectora de código de barras o la propia aplicación del móvil. Una vez finalizada la compra se debería transmitir esta información al puesto de cobro, para poder efectuar el pago. Por lo tanto, probablemente se necesitaría de otra base de datos en ese punto para poder identificar la información recibida de los lectores.
- B. *En el carrito*: esta opción se basaría en una memoria móvil situada en el carro de la compra en la cual se almacenarían los datos recibidos por el lector de códigos. También podría caber la posibilidad de que en esta memoria hubiera almacenada la información de todos los productos del supermercado. De esta manera, a través de la pantalla del carrito se podría facilitar información sobre los productos, así como incluir imágenes de los propios productos u ofertas disponibles.
- C. *Base de datos central*: si únicamente se tuviera una base central la comunicación sería bastante compleja, ya que cuando se escaneara un producto mediante las unidades lectoras, éstas tendrían que enviar el código a la base de datos central. A continuación, se identificaría el producto y se les devolvería la información del producto escaneado a la unidad lectora. Este funcionamiento podría conllevar bastantes problemas de comunicación si el establecimiento tuviera unas dimensiones considerables, así como retardos debidos a la distancia.

Sistemas de cobro

- A. *Pago con tarjeta de crédito en carrito*: consiste en un lector de tarjetas que estaría integrado en el carrito justo al lado de la pantalla. De esta manera el cliente realizaría el pago desde el mismo carrito.
- B. *Pago vía internet (nº de tarjeta)*: el cliente realizaría el pago en la misma pantalla del carrito. Únicamente debería introducir el número de tarjeta y el código CVV para realizar la operación online. En este caso los carritos deberían tener conexión a internet a través de WiFi.
- C. *Pago en terminal de pago común (máquina)*: consiste en una máquina capaz de realizar la transacción y cobrar mediante tarjeta o efectivo. Los clientes una vez finalizaran su compra, enviarían su lista a la máquina desde el menú de pago de la pantalla. Al ser una máquina común para todos los usuarios ésta debería establecer el orden de pago de los clientes en función del orden de envío de la lista.

Ventajas e inconvenientes

La principal ventaja de este método es que se elimina el actual paso por caja, que es el punto donde se generan las colas en los supermercados actualmente. Con este sistema el cliente únicamente debe escoger los productos que desea, escanearlos y realizar el pago. El tiempo de estancia en el supermercado no dependerá de otros factores como pueden ser la cantidad de gente, los problemas de otros clientes en las cajas o la habilidad de los empleados de caja.

El principal factor en contra de este sistema es que el cliente debe hacer la lectura de los productos manualmente durante la compra. Esto podría causar cierto rechazo por parte del cliente ya que en realidad estarían haciendo el trabajo de las cajeras.

Otro factor que se debería tener en cuenta es la seguridad. Si finalmente se implantara este sistema probablemente se deberían tomar algunas medidas de seguridad para evitar los hurtos. También debería tenerse en cuenta el coste de los equipos a instalar, ya que cada carrito necesitaría un lector, una pantalla y un microcontrolador que lo interrelacionara todo.

A pesar de esto, este sistema tiene un gran punto a favor y es que se podría implantar en diversas fases sin paralizar la actividad del supermercado. Además, se podría combinar con el sistema actual y según la aceptación del cliente ampliarse o no.

3. Vending

Funcionamiento general

Este sistema de compra estaría basado en las máquinas de vending, pero a gran escala. Es decir, habría una serie de compartimentos cerrados con puertas transparentes, de manera que el cliente pudiera ver todos los productos en su interior pero no cogerlos. Cuando el usuario quisiera adquirir un producto, debería introducir su tarjeta de cliente y la puerta se abriría.

El coste del producto se descontaría inmediatamente de la tarjeta cliente, la cual debería tener un saldo inicial para poder realizar así las compras. Con este sistema, una vez introducida la tarjeta el producto ya sería del cliente. Es decir, el pago se iría realizando progresivamente a medida que se fuera comprando.

Una vez retirado el producto, la puerta se cerraría y otro producto idéntico al anterior se colocaría en su lugar (mediante una serpentina helicoidal similar a las de las máquinas expendedoras). Se debería colocar una rejilla o pared vertical entre el producto escogido y los de repuesto, para evitar el hurto.

El problema estaría en las devoluciones. Si un cliente se arrepintiera de la compra de un producto, no sería posible introducirlo en las máquinas de nuevo. Por lo que se tendría que habilitar un mostrador de devoluciones, en el cual se devolvería el producto y, si estuviera en buen estado, se le retornaría la cantidad al cliente.

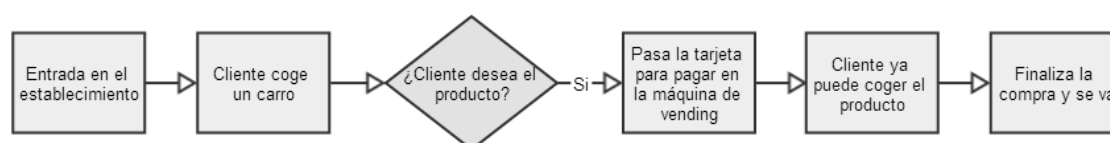


Fig. 5.1.3 – Diagrama de flujo

Variantes

Automatización

Una variante del sistema anterior sería la automatización del proceso. Es decir, en vez de ser el cliente el que cogiera los productos de las máquinas, que una vez el cliente pasara la tarjeta para comprar el producto, éste se añadiera a su lista. Al finalizar la compra el cliente pasaría por el punto de recogida en el cual se le entregaría su bolsa con todos los productos que hubiera seleccionado.

La automatización del sistema sería relativa, ya que el funcionamiento sería el siguiente: a medida que los clientes fueran comprando productos, éstos a través de una cinta mecánica irían hacia el punto de entrega, dónde los operarios tendrían unas pantallas con las listas de cada cliente, y en el cual deberían de hacer la separación y empaquetamiento de los productos.

Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas de este sistema sería la reducción de los hurtos, ya que para alcanzar un producto el cliente debería realizar el pago previamente. Por otro lado, en el caso del sistema automatizado, el trabajo por parte del cliente sería prácticamente nulo, ya que solo debería pasar la tarjeta en aquellos productos que deseara y, finalmente, recoger la compra.

A pesar de que el sistema puede parecer muy bueno, tiene bastantes inconvenientes. Para empezar, la implantación del sistema en un establecimiento existente sería casi imposible, debido a los grandes cambios estructurales que supondría. Además, la inversión inicial sería muy elevada ya que se tendrían que comprar una gran cantidad de máquinas.

Por otro lado, el cliente no podría mirar los productos antes de comprarlos, es decir, mirar sus etiquetas con las características, la cantidad o, en definitiva, familiarizarse con el producto. Este hecho podría suponer una cierta reticencia por parte del cliente al sistema. Otro factor a tener en cuenta son las colas que se podrían generar, ya sea en las máquinas para comprar un determinado producto, o en los puntos de entrega, en el caso del sistema automatizado. En horas punta, el trabajo de separación de productos en los puntos de entrega podría ser muy complicado debido a la elevada cantidad de clientes, lo que podría inducir a errores.

Por último, con este sistema habría una gran dependencia de las máquinas, que en caso de fallo inhabilitarían el funcionamiento del supermercado, por lo que el riesgo técnico de esta opción sería bastante elevado.

4. Identificación por imagen de los productos

Funcionamiento general

Este sistema se basa en la identificación por imagen de los productos. El sistema sería similar al RAPTOR System que se ha explicado previamente, que consistía en un sistema capaz de leer códigos de barras utilizando un software de imagen, que permitía identificar el producto y determinar dónde estaba el código para posteriormente leerlo. Pues bien, el sistema consistiría en una cinta en la que se irían depositando los productos y que irían pasando a través de un “arco” o “túnel” detector en el cual habría cámaras que permitirían la identificación del producto.

El sistema de compra sería el mismo que el actual, con la única variación que en lugar de cajas habría este sistema de escaneo. No se automatizaría del todo el proceso de cobro, pero lo agilizaría mucho ya que a medida que los productos se fueran escaneando, el empleado de caja o el cliente (si se decidiera prescindir de los empleados) podría ir empaquetando en bolsas los productos. Finalmente se realizaría el pago del mismo modo que actualmente.

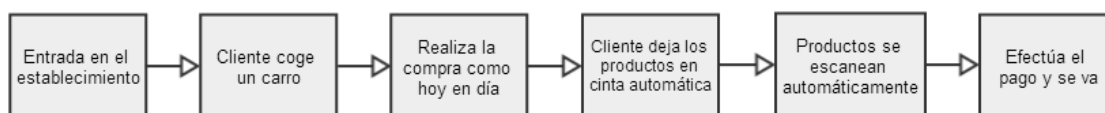


Fig. 5.1.4 – Diagrama de flujo

Variantes

Una opción para hacer más rápido el sistema sería incluir un sistema de elevación del carrito para extraer todos los productos. En la base del carrito se situaría un sistema de ruedas cilíndricas, que al inclinar el carrito harían que los productos se deslizaran, debido a la gravedad, hacia la cinta mecánica de escaneo. La pared vertical delantera del carrito se abriría (abertura vertical con guías o circular con bisagra) para que los productos salieran del carrito y se deslizaran hasta la cinta.

A continuación se debería instalar un mecanismo de separación de los productos, ya que para utilizar la identificación por imagen, éstos deberían pasar uno a uno a través del escáner.

Ventajas e inconvenientes

Las ventajas que ofrece este sistema es principalmente es la disminución del tiempo que supone el escaneo automático de los productos. Además con el sistema, la velocidad en las cajas dejaría de depender del empleado en caja y sería uniforme a un ritmo superior al humano. La aceptación por parte de los clientes estaría asegurada, ya que el hábito de la compra sería prácticamente el mismo.

El problema de este sistema es que no se pueden pasar varios productos a la vez, sino, el software de reconocimiento no funciona adecuadamente. Por lo que se tienen que dejar los productos en la cinta de uno en uno, dejando un espacio entre ellos o introducir un mecanismo que lo haga. Otro problema podría ser la relación inversión/productividad, ya que probablemente el software de reconocimiento por imagen sería caro, al ser una tecnología todavía no implantada en este sector, y las cadenas se podrían plantear si realmente vale la pena realizar la inversión. Por último, este sistema no cumpliría con una de las especificaciones que se quiere que cumpla el sistema. El cobro no sería totalmente automático y además los productos se deberían sacar del carrito para efectuar el cobro.

5.2. Evaluación de las alternativas

Una vez explicadas las diferentes soluciones para abordar el sistema, a continuación se realizará un análisis comparativo de las alternativas mediante una tabla multicriterio a fin de seleccionar la mejor solución. Se tendrán en cuenta diferentes factores como pueden ser su aceptación, riesgo técnico, implantación, precio o seguridad. Como se puede ver en la Tabla 5.2.1, se ponderará cada uno de los criterios en función de su importancia en la decisión del sistema.

Criterio	Ponderación (%)	Explicación
Aceptación	25	Trata de medir si los clientes estarían de acuerdo con la implantación del sistema
Riesgo técnico	10	Madurez de la tecnología utilizada y su correcto funcionamiento

Implantación	15	Dificultad y cambio estructural que conlleva la implantación del sistema en el establecimiento
Financiación	10	Coste económico de implantar el sistema
Costes añadidos	25	Repercusión de la implantación del sistema en los precios de los productos
Seguridad	15	Robustez ante los robos que ofrece el sistema

Tabla 5.2.1 – Tabla con la ponderación y los criterios utilizados para comparar las alternativas

Cada una de las alternativas se ha puntuado de 1 a 5 (siendo 5 la mejor puntuación) en función de cada criterio y, posteriormente, se ha calculado el total para cada alternativa ponderando las puntuaciones.

	Peso (%)	RFID	Código de barras	Vending	Identificación por imagen
Aceptación	0,25	5	3	1	3
Riesgo técnico	0,1	3	5	2	3
Implantación	0,15	2	5	1	3
Financiación	0,1	4	3	2	2
Costes añadidos	0,25	2	5	5	4
Seguridad	0,15	3	2	4	4
TOTAL	1	3,2	3,85	2,65	3,2

Tabla 5.2.2 – Tabla multicriterio para la comparación de las diversas alternativas

Sistema RFID

a) Aceptación del sistema casi completamente asegurada. El único cambio que conlleva respecto el sistema de compra actual, es para mejorarlo (se elimina el paso por cajas).

b) Hace ya muchos años que la tecnología está inventada, aunque actualmente ya se empieza a utilizar en algunos establecimientos de otros sectores, en éste sería una experiencia casi pionera. Por lo tanto es posible que surgieran algunos problemas, como interferencias o errores de lectura.

c) Por lo que se refiere a la infraestructura del este sistema, la implantación de este mecanismo no conllevaría muchos cambios y la inversión sería relativamente pequeña. El

gran problema sería el etiquetado, ya que los productos actualmente no vienen con etiquetas electrónicas, con lo que se deberían etiquetar de nuevo todos los productos del establecimiento. Éste sí sería un gran inconveniente para la implantación del sistema RFID.

d) El coste económico de implantar el sistema no sería muy elevado. La principal inversión serían los arcos de seguridad situados en la salida.

e) El otro gran problema de esta tecnología, actualmente, es que el precio de los productos se vería incrementado debido a que las etiquetas electrónicas se tendrían que insertar en cada producto. Si se consiguiera reducir el precio de los chips y hacer que éste fuera insignificante respecto al precio del producto, este sistema ganaría muchas posibilidades de ser implantado.

f) El nivel de hurtos se podría ver incrementado debido a que se podrían arrancar las etiquetas, inutilizando el sistema de seguridad. Se deberían tomar medidas para evitarlo.

Código de barras

a) La aceptación del sistema probablemente sería buena, aunque no tanto como la del caso anterior. Por un lado estaría el hecho de que los clientes deberían escanear los productos a la vez que realizan la compra, y por otro, que al finalizar la compra no deberían hacer colas para pagar.

b) El código de barras es el sistema de identificación por excelencia desde hace muchos años. Lo mismo pasa con los lectores, su funcionamiento es prácticamente perfecto y casi nunca dan errores de lectura. Si se utilizara una aplicación móvil para escanear, la lectura de códigos también es muy buena si se dispone de una iluminación correcta.

c) La implantación del sistema sería muy cómoda ya que se podría introducir parcialmente, sin necesidad de paralizar la actividad del establecimiento.

d) El coste económico del sistema estaría centrado en los lectores, las pantallas y los microcontroladores que se deberían instalar en cada carrito. También se debe tener en cuenta que el sistema permitiría una reducción del número de empleados de caja, con lo que económicamente el sistema sería rentable.

e) El sistema no conllevaría ningún coste añadido a los productos, ya que el proceso de fabricación sería el mismo que el actual.

f) La seguridad de este sistema sería su punto débil, ya que no se controlaría si los clientes escanean todos los productos que introducen en sus carritos. Se deberían buscar algunos sistemas de seguridad y control si finalmente se escogiera esta alternativa.

Vending

a) La aceptación de este sistema por parte de los clientes sería dudosa ya que cambiaría completamente el hábito de la compra actual.

b) El sistema mecánico sería muy complejo, por lo que el riesgo técnico de la solución sería bastante elevado.

c) La implantación de las máquinas tipo vending en el establecimiento supondrían un cambio estructural importante.

d) La gran cantidad de máquinas necesarias, debió a la gran cantidad de productos diferentes, haría que la financiación de este sistema sería bastante elevada.

e) El precio de los productos no variaría, ya que el sistema de producción sería el mismo.

f) El pago de los productos con este sistema sería previo a su obtención, por lo que los hurtos probablemente se verían reducidos.

Identificación por imagen

a) La aceptación del sistema por parte de los clientes sería muy buena, ya que no cambiaría su manera de realizar la compra. Únicamente sería más rápido su paso por caja.

b) El riesgo técnico de la solución sería relativo. El sistema de identificación por imagen aun no se ha utilizado para esta función, por lo que no se sabe cuál sería su rendimiento real. Por otro lado, el sistema notificaría los productos que no fueran identificados y éstos podrían ser escaneados manualmente.

c) La implantación del sistema no conllevaría un cambio estructural muy grande. Únicamente se modificaría la zona de cajas y su implantación podría hacerse por fases.

d) El coste económico del sistema probablemente sería elevado debido a la novedad de la utilización de este sistema en este sector.

- e) El precio de los productos no variaría, ya que el sistema de producción sería el mismo.
- f) El nivel de hurtos probablemente se mantendría al mismo nivel que el actual, ya que el sistema de compra sería el mismo.

5.3. Elección del sistema

Como podemos ver en la Tabla 5.3.1, la solución que mejor puntuación ha obtenido, teniendo en cuenta todos los criterios, es la del sistema de escaneo de los productos incorporado al carrito. Si nos fijamos en la Tabla 5.2.2, el único punto débil de esta alternativa es la seguridad, por lo que se debería estudiar la posibilidad de mejorar el sistema en este aspecto.

	RFID	Código de barras	Vending	Identificación por imagen
TOTAL	3,1	3,85	2,65	3,2

Tabla 5.3.1 – Puntuaciones totales de la tabla multicriterio

5.4. Sistemas de seguridad

Ahora que ya se ha decidido que el sistema de cobro automático se basará en un sistema de lectura de código de barras instalado en el carrito, vamos a explicar diversos sistemas de seguridad para mejorar el funcionamiento y la eficiencia del sistema.

1. Sistema de control por peso

Hoy en día es habitual en muchas empresas el control de sus productos a través del peso. Normalmente se usa para el recuento de piezas o para controles de calidad al final de las cadenas de producción. De esta manera se comprueba que todos los productos estén correctos, es decir, que haya las unidades correspondientes en un palé o que las unidades se hayan llenado correctamente.

El sistema de control por peso sería el sistema de seguridad principal. Se basaría en la comprobación de que el peso de la compra realizada (productos en el carro) es el correspondiente a la lista de la compra obtenida (productos escaneados). El control se

efectuaría mediante básculas situadas en el mismo carro. A continuación se detallarán algunas alternativas planteadas para este sistema.

A. *Dos balanzas con separación vertical:* para garantizar que las balanzas tengan una la precisión suficiente sin elevar demasiado el coste, se ha planteado esta alternativa, mediante la cual se dividen los productos en dos zonas del carrito. En la parte más cercana al cliente irían los artículos de menor peso y en la parte más alejada los más pesados. Se ha decidido esta distribución ya que la mayoría de los productos que compra la gente están dentro del rango de los productos poco pesados, con lo cual colocar los objetos en la parte más cercana es más cómodo para los clientes. Con esta división del sistema de pesado en dos balanzas lo que se consigue es mejorar la precisión sobre todo en los productos más ligeros, que son los que más abundan y con los cuales podrían haber problemas de precisión debido a pesos muy similares. Así se abarataría el coste de las celdas de carga, el cual está fuertemente influenciado por la precisión de la balanza a medida que aumentamos la carga máxima.

En la balanza para productos pesados la precisión se podría disminuir ya que las diferencias entre los pesos de los productos en este intervalo son mayores a los 5 g de precisión especificados, con lo cual también se podría aumentar el peso máximo sin que eso significara aumentar mucho el precio. El rango de pesos de las dos balanzas sería hasta los 10 kg para la de productos ligeros y a partir de los 10 kg para la de productos pesados.



Fig. 5.4.1 - Carrito con separación vertical entre balanzas

B. Dos balanzas con separación horizontal:

esta alternativa se basa en el mismo concepto que la anterior, separar en dos partes el carrito en las cuales habría balanzas adecuadas para su rango de pesos y precisión necesarios. La diferencia estaría en la distribución del carrito, ya que en este caso, la cesta superior albergaría los productos ligeros y los productos pesados se colocarían en la parte inferior. Esta opción está diseñada pensando en que los productos fuera del rango de los 10 kg en una compra habitual son muy pocos, con lo cual el cliente dispone de más espacio para colocar los productos que normalmente compra.



Fig. 5.4.2 - Carrito con dos balanzas separadas horizontalmente

C. Una sola balanza: esta opción se basa en una única balanza en la cual se pesarían todos los productos. De esta manera se libera al usuario de tener que separar los productos en dos cestas. En este caso la precisión de la balanza debería ser la especificada para todo el rango de pesos, lo cual requeriría una celda de carga de bastante precisión y de un alto rango de peso.

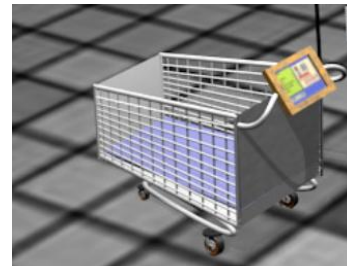


Fig. 5.4.3 - Carrito con una única balanza

Se presentan varios problemas para poder verificar la lista con seguridad. El principal problema que se puede tener es que se acepte una lista incorrecta como si fuera buena. Eso podría pasar ya que hay productos de pesos muy similares, y hay otros productos que tienen pequeñas variaciones en el peso.

Los productos de peso similar pueden confundirse a la hora de la comprobación. Por lo que el cliente podría substituirlos por productos de diferente precio, como por ejemplo podría pasar con el aceite y el vino.

Por otro lado, con un etiquetado común no se puede conocer el peso real de cada producto en concreto. Por eso, de cada uno se tendrá un peso medio, y un margen de error.

Para poder hacer una estimación del error en el peso de cada producto nos hemos fijado en las máquinas de envasado. Estas máquinas proporcionan un error entre el 1 o 0.5% sobre su máximo de medida. Por otro lado, tenemos los productos que se empaquetan dentro de los centros. Estas básculas tienen errores del 0.1% sobre su máximo de medida que acostumbra a ser de 5kg. Aunque existe más margen de error en productos que se envasan volumétricamente, como puede ser legumbres, o bebidas.

Pero al fin y al cabo, la mayoría de productos pasan controles de calidad que, en este aspecto en concreto, están regulados por el Real Decreto 1801/2008 [13], por el que se establecen las normas relativas a las cantidades nominales para productos envasados y al control de su contenido efectivo. En él se fijan las tolerancias del contenido de los productos envasados, fijando los errores máximos permitidos en la medida del contenido efectivo. Por lo tanto, la mayoría de productos estarán dentro de estos márgenes.

Cantidad nominal en gramos o en mililitros	Errores máximos por defecto tolerados			
	Masa		Volumen	
	Porcentaje - Cantidad nominal	En gramos	Porcentaje - Cantidad nominal	En mililitros
De 5 a 50	9,0	–	9,0	–
De 51 a 100	–	4,5	–	4,5
De 101 a 200	4,5	–	4,5	–
De 201 a 300	–	9,0	–	9,0
De 301 a 500	3,0	–	3,0	–
De 501 a 1.000	–	15,0	–	15,0
De 1.001 a 10.000	1,5	–	1,5	–

Fig. 5.4.4 – Tabla del RD 1801/2008

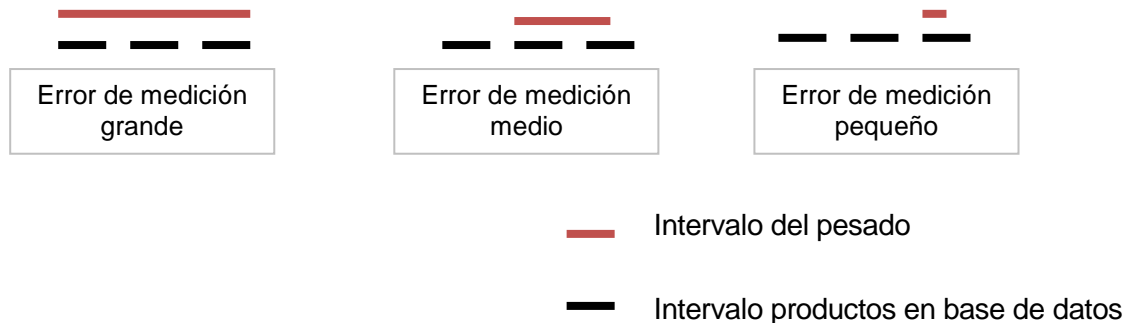
Entonces, se presentan dos opciones para la comprobación del peso: puede hacerse individualmente a medida que se escanean los productos, o al acabar la compra.

A. Comprobación del peso individual

La forma más precisa es validar un producto durante la compra. De esta forma solo tiene que considerarse el error de un producto, por lo que se medirían incrementos de peso. Es válido el producto si la medida de la báscula, incluido el error, está comprendida dentro del margen del peso del producto. En forma de ecuación queda:

$$\bar{P} \pm \varepsilon_{estimado} \subset P \pm \varepsilon_{báscula} \quad (\text{Ec. } 5.4.1)$$

Para no provocar confusión entre productos conviene que el error de la báscula sea pequeño. Si tenemos un error de báscula grande la medida tomada abarcará más productos. Visto gráficamente:



Para poder obtener un error de medición pequeño, se necesitará un sistema de pesado muy preciso, lo cual encarece el sistema. Se debe a que la tecnología de las células de carga es más cara cuando aumenta la precisión, y aún más para rangos de peso elevados como puede llegar a ser una compra.

B. Comprobación del peso común

La segunda alternativa es hacer una pesada cuando se acabe la compra. Entonces ha de tenerse en cuenta que el peso medio y el error dependen de la suma de todos los pesos.

Para hacer la comprobación de la compra necesitaremos un peso medio y un error, y así poderlo comparar con el medido. Con estos datos, la comprobación será igual que con un solo producto.

Para conocer la media y el error de la compra podemos ensayar el peso de los productos y ver que distribución de peso siguen. Si adecuamos la distribución de pesos a una ley normal, podemos conocer su directamente la media y desviación de toda la compra.

La media del peso total de la compra es igual al sumatorio de la media de cada producto, y la media de la desviación estándar es igual a la raíz cuadrada del sumatorio de desviaciones al cuadrado.

$$\bar{x}_{total} = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \quad (\text{Ec. 5.4.2})$$

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} \quad (\text{Ec. 5.4.3})$$

Aunque no conocemos la desviación estándar ' σ ' de cada producto, la podemos obtener a partir del ' ε '. El valor de Z escogido tendrá que abarcar prácticamente toda la campana de Gauss. Por ello, escogeremos el valor de los casos menos exigentes en la industria en controles de calidad, que es de $Z=3$. Según el Teorema de Chebyshev, un 99,7% de los valores que tome el peso de un producto se encontrarán dentro de un intervalo de tres sigma.

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{Z} \quad (\text{Ec. 5.4.4})$$

Es decir, que si un producto pesara 250 ± 5 g. Su desviación sería $\sigma = 5/4 = 1,25$ g.

Expuestas las dos opciones posibles, se debería hacer un estudio más concreto sobre las tolerancias de los pesos de los alimentos y sobre la tolerancia que se debería admitir en la comprobación del peso, según la variación de errores en los productos. A partir de ahí, se decidiría en función de necesidades, como pueden ser la precisión, el precio o la eficacia del sistema, cuál de los dos métodos se adapta mejor al sistema.

2. Sistema de notificación de estado del carrito

Este sistema tendría la función de informar si el peso del carrito corresponde con los productos que el cliente ha escaneado en todo momento. Se proponen diversas opciones para hacerlo:

- A. *Poste con LED's informativos*: consiste en una antena incorporada al carrito con tres LED's de colores en la parte superior. La antena serviría para visualizar desde una distancia relativamente lejana el estado de los carritos, alertando así de un posible hurto. Habría un LED verde, que encendido informaría de que todo está en orden; un LED naranja, que se encendería al escanear un producto y permanecería en ese estado hasta que el cliente colocara el producto en el carrito; y un LED rojo, que significaría que el peso de los productos no coincide con el peso teórico de los productos de la lista del cliente.



Fig. 5.4.5 – Poste LED

- B. Sistema sonoro de alarma:* este sistema consistiría en un pequeño timbre que se activaría en el caso de que el peso del carrito no coincidiera con el de la lista. Éste sistema tiene el inconveniente de la contaminación acústica que podría provocar. Si varios clientes a la vez tuvieran problemas de peso en sus carritos, el sonido podría ser molesto para los clientes.
- C. Información en la pantalla del carrito:* esta sería la opción más discreta para el usuario, ya que únicamente él vería en su pantalla el estado. Por ejemplo podría salir un cuadrado de color verde si el peso fuera el correcto y de color rojo si no fuese el adecuado. De cara al personal de seguridad no sería tan fácil tener controlados a los clientes que pretendan hurtar, pero habría otros métodos para evitarlos. Sería la mejor opción en cuanto a la intimidad del usuario, ya que con los otros métodos, un cliente que no pretendiera robar y tuviera problemas de peso, podría sentirse avergonzado ante los demás clientes debido a los sistemas de alarma.

3. Controles aleatorios (muestreo)

Consiste en una revisión manual de la compra que se realizaría aleatoriamente. En los controles principalmente se verificaría la coincidencia entre los productos de la lista (los escaneados) y los del carrito.

Si fuera el caso, se comprobaría la coincidencia entre el peso del carrito y el peso teórico para así tener información del funcionamiento del sistema de pesado en los carritos. Según las estadísticas se podría saber si son necesarios algunos cambios o ajustes en el sistema.

En caso de que no coincidieran los pesos, podría ser por dos motivos. El primero, que en el carrito hubiera más productos de los escaneados. En tal caso el cliente estaría intentando robar o se habría olvidado de escanear algún producto. En este caso, se evitaría la “pérdida” de dichos productos. El caso contrario sería que se hubiera escaneado más productos de los existentes en el carrito. El motivo probablemente se debería a que alguien habría decidido dejar un producto previamente escaneado y no se hubiera acordado de borrarlo de la lista. En este caso le haríamos un favor al cliente ya que habría pagado más de la cuenta.

A parte de los controles aleatorios, también podrán ser retenidos aquellos clientes que hayan sido observados con actitudes sospechosas de realizar algunas irregularidades. Además, también pasarían por ese control las personas que a la hora de realizar el pago el sistema les indicara que el peso del carrito no es el correcto.

En todos los controles que se realizaran se podría guardar información como el resultado del control, el tipo de cliente (edad, sexo) o la hora del día. De esta manera se podría realizar un estudio estadístico para determinar el tipo de cliente que más hurta o las franjas horarias más conflictivas.

Para recompensar las molestias a aquellos clientes sometidos al control y que el estado de su compra fuera correcto, se les podría ofrecer algún tipo de descuento u oferta en la siguiente compra.

4. Cámaras de seguridad

Este sistema consiste en la colocación de cámaras de video vigilancia en diversos puntos del supermercado. A través de ellas se podría ir observando desde el punto de control de compras a los clientes y decidir a qué personas se realiza el control. Otra opción sería que las cámaras de seguridad fueran falsas y únicamente sirvieran para intimidar a los ladrones.

5. Vigilantes de seguridad

Estarían repartidos por el supermercado para vigilar que no se efectuaran hurtos. Su presencia probablemente reduciría los intentos de hurto, pero también sería incomodo para los clientes. Otra opción sería que estuvieran solamente en la salida y controlaran a los clientes en la zona de cobro. En caso de alguna irregularidad enviarían a los clientes a la zona de control de peso.

6. Barreras físicas

La función de este sistema es evitar que un cliente salga del supermercado sin pagar. Consiste en un mecanismo de puertas normalmente cerrado y que sólo se abre cuando el puesto de cobro le da la señal. De ésta manera, cuando el cliente hubiera pagado, el terminal de cobro mandaría la señal a las puertas para que se abrieran y el cliente podría salir.

7. Arcos antirrobo

Este mecanismo se utiliza en muchos establecimientos actualmente. Consiste en la colocación de etiquetas electromagnéticas en los productos y dos arcos electromagnéticos a la salida de la tienda. Las etiquetas cuando son escaneadas con el lector de código de barras se desactivan, debido a un generador de campos magnéticos que lleva incorporado. De esta manera se evita que se produzca una señal de alarma si el cliente ha escaneado los productos. Si no lo hubiera hecho, en el momento de pasar el producto entre el campo magnético generado por los arcos de seguridad, saltaría la alarma.

El problema de esta medida de seguridad es que con el nuevo sistema de lectura de códigos que se quiere introducir, que es a través de una aplicación móvil, las etiquetas no se desactivarían al ser escaneadas y los productos harían saltar la alarma.

5.5. Solución definitiva

Un vez planteados los diversos sistemas de seguridad que se podrían aplicar a la alternativa previamente escogida, vamos a explicar brevemente qué sistemas se incluirán en el diseño de detalle. El funcionamiento del sistema de cobro automático girará en torno a dos grandes pilares. Por un lado, el sistema de lectura de código de barras y por otro el sistema de control por peso.

Con este sistema de compra el cliente se encargaría de hacer él mismo la lectura de los códigos de barras de los productos a medida que fuera comprando. La lectura de los productos se podría hacer mediante pistolas láser de escaneo de código de barras o a través de la aplicación móvil del establecimiento.

En el carrito habría una pantalla en la cual se vería la lista con los productos escaneados y serviría de interfaz con el usuario. A través de ella podría modificar las unidades de los productos escaneados, evitando así la molestia de tener que escanear repetidas veces un mismo producto.

El carro también llevaría incorporado un sistema de pesado como principal sistema de seguridad. A medida que se fueran introduciendo productos iría tomando muestras del peso, de esta manera se informaría al usuario a través de la pantalla si el peso de su carrito se corresponde con el de los productos en su lista.

El empaquetado de la compra se llevaría a cabo durante la compra con dispensadores de bolsas distribuidos por el establecimiento. Así, después del pago el cliente se podría marchar tranquilamente con su compra ya en bolsas.

Aún con este sistema de comprobación por peso, se presentan varios problemas para poder verificar la lista con seguridad. Por un lado hay productos de pesos muy similares que podrían confundirse, y por otro lado, hay productos con variaciones de peso que pueden camuflar algunos productos muy ligeros. A la hora de la comprobación, un cliente podría llevarse un producto muy caro en el lugar de un producto más barato y del mismo peso, y el sistema no lo detectaría.

Para ello se introduciría el segundo sistema de seguridad, que se trata del sistema de muestreo previamente explicado. Consistiría en controles aleatorios que se realizarían a tres tipos de clientes: por un lado, a los clientes que al pagar no les coincidiera el peso con el de su carrito; por otro, a los clientes que a través de un sistema de vigilancia hubieran sido vistos con actitudes sospechosas; y por último, a clientes aleatorios.

Los sistemas de vigilancia podrían ser cámaras de seguridad o bien guardias, que permitirían informar sobre los clientes a los que realizar el control.

Por último, después de los terminales de cobro habría unas puertas normalmente cerradas que únicamente se abrirían una vez realizado el pago. De esta manera, desde la zona de control de la compra se podría controlar que los clientes sospechosos no salieran del establecimiento sin pagar.

6. Diseño de detalle

Una vez finalizado el proceso de generación de ideas y selección de alternativas, a partir de ahora se va a estudiar en profundidad la solución definitiva explicada en el apartado anterior. Vamos a dividirla en dos grandes bloques, por un lado el sistema de control de la compra y, por otro, el puesto de cobro.

El sistema de control de la compra es el que permitirá al cliente realizar la compra y, al propio supermercado, tener un control sobre el proceso de compra de cada cliente. Como veremos más adelante está formado por la unidad de escaneo, la unidad de pesado y la unidad de control.

El puesto de cobro será el punto donde los clientes, una vez finalizada su compra, deberán acudir para realizar el pago. Habrá varios terminales en los que los clientes puedan pagar y todos ellos estarán conectados con la base de datos central. De ésta manera, cuando el cliente realice el pago, se recogerán los datos de la compra y así el supermercado tendrá en todo momento información sobre la demanda y el stock de todos los productos.

6.1. Lógica y algorítmica del proceso de compra

Se ha llevado a cabo un estudio de todos y cada uno de los componentes físicos que compondrán el sistema, pero antes de entrar a explicar más en profundidad cada uno de ellos, se considera fundamental entender el funcionamiento general del sistema automático de cobro que se va a diseñar. Se hará uso de un diagrama de flujo para desglosar todas y cada una de las etapas del proceso de compra, así como de un esquema de los componentes del sistema y su interconexión. Una vez explicado el funcionamiento general, se detallará específicamente cada uno de los bloques en que se ha dividido el sistema.

Las etapas en que se dividirá el proceso de compra diseñado son cinco:

1. *Adquisición de la unidad lectora*
2. *Proceso de selección de los productos*
3. *Comprobación de peso*
4. *Proceso de cobro*
5. *Posible control de la compra*

El proceso se inicia una vez el cliente entra en el supermercado. En ese momento puede haber dos posibilidades, que el cliente tenga un *Smartphone* o que no lo tenga. En el primer caso, el cliente podrá realizar el escaneo de los productos a través de la aplicación móvil del supermercado, que podrá descargarse gratuitamente en menos de 30 segundos. En el segundo caso, para que todo el mundo pueda utilizar el sistema, habrá una serie de carritos que llevarán incorporada una pistola laser para escanear códigos de barra.

Podría contemplarse la posibilidad de que el usuario se identificara ante el sistema, a través de una tarjeta de cliente o registrándose a través de la aplicación móvil. De esta manera se podría tener un control de los productos que más compra cada usuario y ofrecerle ofertas personalizadas de acuerdo con sus preferencias. Además, de cara a los supermercados implantar este sistema resultaría más seguro, ya que se evitaría la utilización del sistema por parte de clientes esporádicos con la única intención de intentar burlar el sistema y robar. En ese caso, la activación de los sistemas se realizaría mediante la tarjeta cliente y, llegados a este punto, cualquier cliente estaría preparado para iniciar el proceso de selección de productos.

A partir de ahí, el funcionamiento es muy sencillo: el usuario irá cogiendo los productos que desee, pero antes de meterlos en el carro, deberá escanear su código de barras, ya sea a través de la aplicación o con la pistola láser. Inmediatamente, el producto escaneado aparecerá en la pantalla del carrito, y desde ahí el cliente podrá modificar las unidades en caso de querer más de una unidad. Acto seguido, el cliente ya podrá introducir en el carrito los productos.

Este proceso se repetirá tantas veces como productos desee el cliente. Una vez éste desee finalizar la compra, deberá acudir al puesto de cobro dónde deberá indicar que desea pagar en la pantalla táctil del terminal. Ésta le devolverá un código que el cliente deberá introducir en la pantalla de su carrito, y una vez lo haga, el sistema automáticamente iniciará el proceso de comprobación de peso.

Sólo puede haber dos posibilidades, que el peso del carrito “coincida” (o esté dentro de las tolerancias) con el de los elementos de la lista del cliente o que no lo haga. En el caso positivo, el cliente procederá con el pago de la cantidad que se le indique, en principio mediante tarjeta de crédito (aunque no se descarta una posible ampliación del sistema e introducir el cobro en efectivo). Una vez realizado el pago, se abrirán las puertas de seguridad y el cliente podrá salir.

En caso de que la comprobación de peso no sea satisfactoria, el cliente deberá acudir al puesto de control manual de la compra, dónde se le revisará la compra manualmente. Aunque pueda parecer algo enredoso, esto es lo que se hace en todas las compras actualmente, además, si el cliente utiliza el sistema correctamente no tendrá ningún problema debido al sistema de pesado. Una vez realizado el control, el cliente podrá efectuar el pago y abandonar el establecimiento.

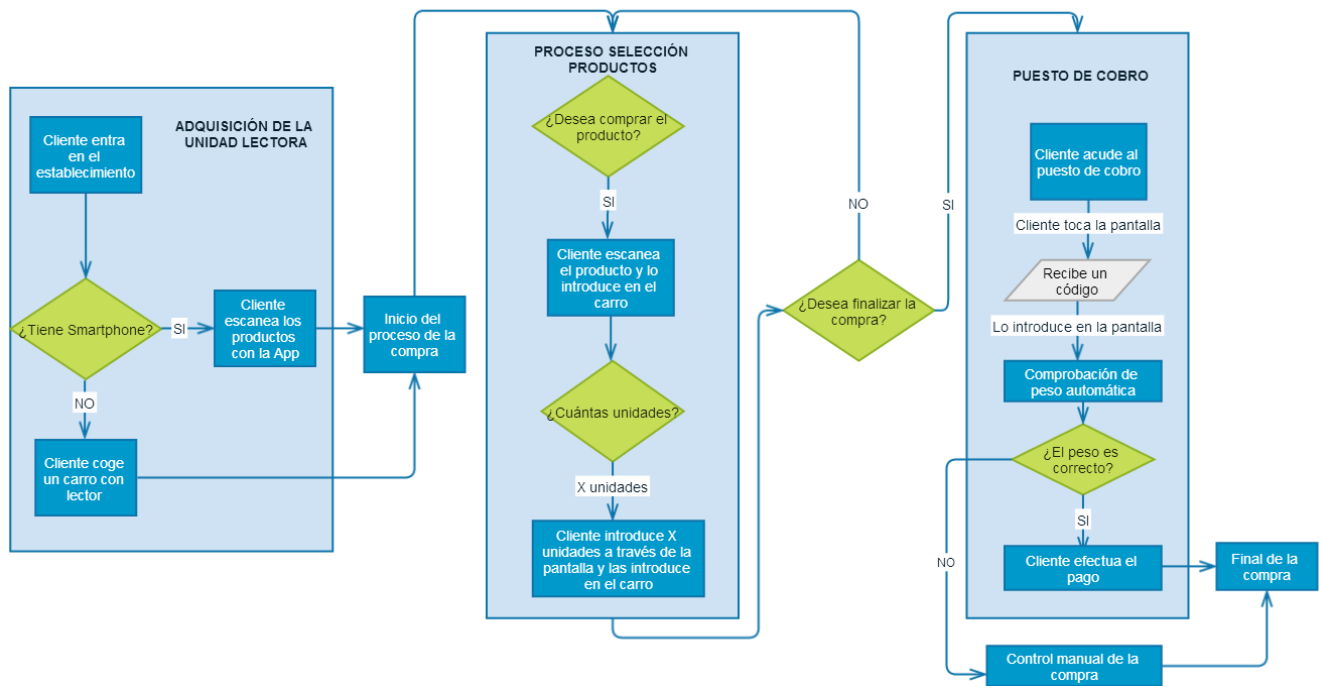


Fig. 6.1.1 – Diagrama de flujo del proceso de compra

En la explicación anterior hay algunas posibilidades que no se han contemplado, como por ejemplo que un cliente deseara dejar un producto que previamente había escaneado. En ese caso, el cliente debería sacar el producto del carrito pero también lo debería hacer de la lista de productos escaneados. Sería tan sencillo como seleccionar el producto en la pantalla y pulsar un botón para eliminarlo. De esta manera, el cliente podría dejar el producto y no tendría problemas a la hora de la comprobación de peso.

Ahora que ya se sabe cuál es el funcionamiento del sistema, vamos a introducir brevemente un esquema de los diferentes componentes que lo formarán (Fig. 6.1.2). El sistema girará en torno a un mini PC, el Beaglebone Black, que lo controlará todo. La pantalla instalada en el carrito será la encargada de interactuar con el cliente a lo largo del proceso de la compra. En ella se verán los productos que el cliente vaya escaneando con la pistola láser del carrito

o con la aplicación móvil. En el segundo caso, los códigos de barras de los productos serán enviados vía Bluetooth al microcontrolador. Por otro lado estarán las células de carga, que pesarán la cesta del carro en todo momento y le enviarán la información al microcontrolador.



Fig. 6.1.2 - Esquema de los componentes del sistema de control de la compra

Por último, nos queda explicar el funcionamiento de los componentes del puesto de cobro, que entrará en acción cuando el cliente desee finalizar la compra. Para ello deberá acudir al puesto de cobro, en el cual se le dará un código que deberá introducir en la pantalla de su carrito. Una vez lo haga, automáticamente empezará la comprobación final del peso. Si ésta es satisfactoria, el cliente meterá la tarjeta de crédito en el lector e introducirá el PIN a través de la pantalla del puesto de cobro. Si todo transcurre cómo es debido, se imprimirá el ticket de la compra para el cliente y, posteriormente, se abrirán las puertas de seguridad, a través de las cuales el cliente podrá abandonar el establecimiento.

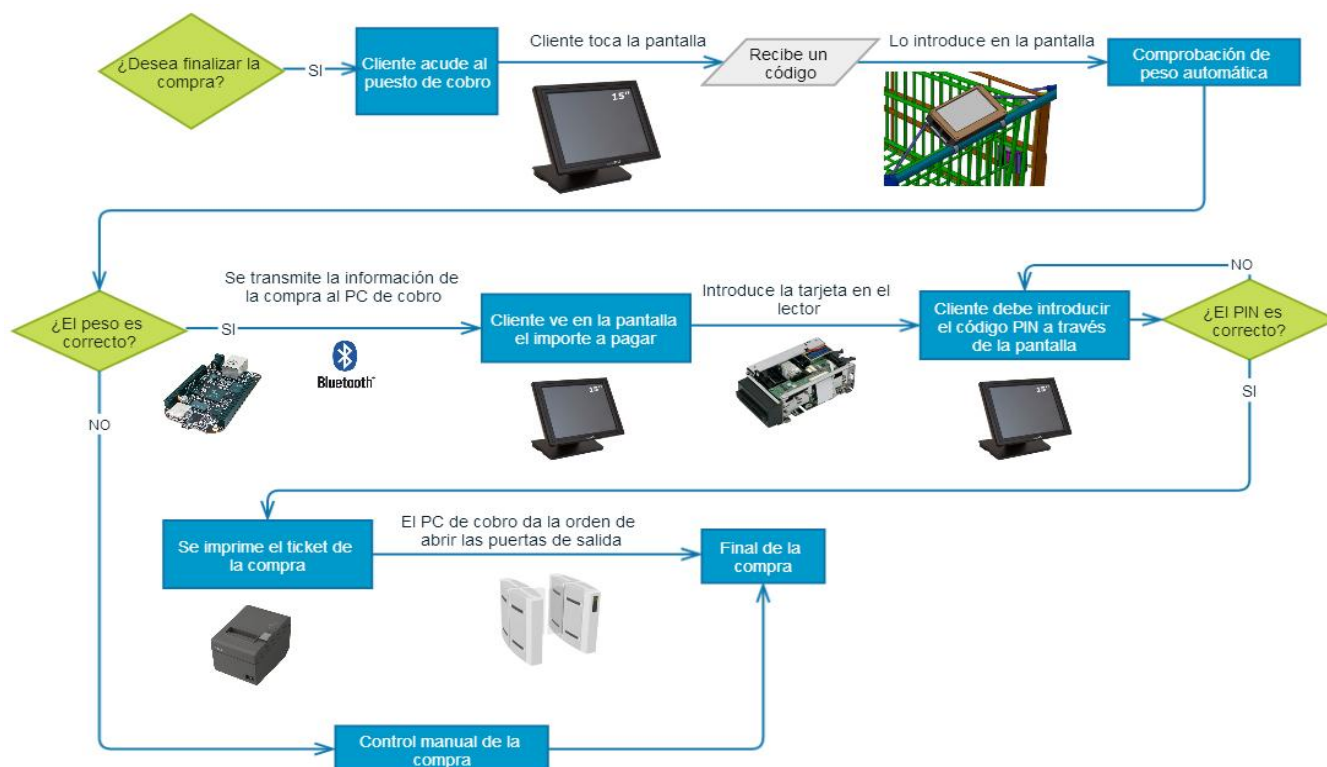


Fig. 6.1.3 - Esquema del funcionamiento de los componentes del puesto de cobro

6.2. Sistema de control de la compra

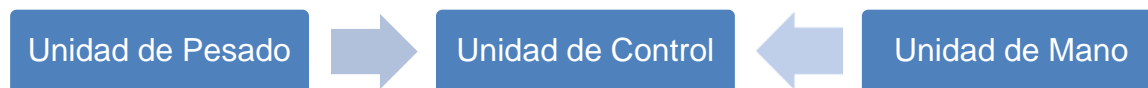
Especificaciones

Las necesidades del sistema del control de la compra son las siguientes:

- El sistema debe permitir la inserción y eliminación de los productos adquiridos en una lista mediante el uso de la aplicación móvil.
- El sistema debe poder realizar una comparación del peso de la lista de productos con los pesos de referencia almacenado en la memoria.
- La granularidad del pesado ha de ser de 5 gr pesando sobre 30 kg.
- El sistema debe permitir la conexión con el terminal de cobro. Deberá transmitir información de la compra realizada y el importe a cobrar.
- La transmisión de los datos de la compra ha de hacerse por medio de ondas.
- El sistema debe permitir un funcionamiento autónomo del sistema durante al menos 12 horas, que corresponde al horario de apertura de nuestros clientes objetivo.
- El tiempo de carga completa de las baterías debe ser inferior a 10 horas (tiempo máximo entre el cierre y la apertura del supermercado)

Morfología del Sistema de control de la compra

El sistema de control de la compra se puede dividir en tres grandes bloques, cada uno de ellos formado por diversos componentes. A continuación se describirán brevemente cada uno de ellos y posteriormente se detallarán más específicamente los componentes que los forman.



1. Unidad de Pesado

La función de la unidad de pesado es comprobar continuamente el peso de la cesta del carro de compra y proporcionarle la información a la unidad de control. Está formada por las tres células de carga montadas directamente en el carrito, que proporcionan un voltaje directamente proporcional al peso colocado en la cesta. A partir de éstas, se obtendrá una señal analógica que será tratada y posteriormente se transmitirá a la unidad de control.

En la presente memoria no se hará hincapié en la selección de las células de carga, ya que forma parte del estudio de mi compañero de proyecto Carlos Darder. Lo que sí se estudiará será el circuito de adecuación de la señal de las células de carga escogidas por mi compañero.

2. Unidad de Control

La unidad de control estará situada en el mango del carro y permitirá al comprador ver en todo momento el estado de su compra así como realizar diversas modificaciones. Una vez acabada la compra, ésta unidad debe comprobar que el peso del carrito coincida con el de la lista de la compra almacenada en el dispositivo del carrito. Si el peso es el correcto, debe transmitir los datos al terminal de pago.

La unidad de control estará coordinada por un microcontrolador que enlazará con todos los periféricos, los cuales estarán ubicados en su mayoría en esta unidad. Los elementos que constituyen la unidad de control son:

- Circuito de adecuación de la señal de las células de carga
- Microcontrolador

- Pantalla táctil
- Módulo Bluetooth

3. Unidad de mano

Esta unidad consiste básicamente en el teléfono móvil del cliente o en la pistola escanear habilitada en el carrito.

En el primer caso, lo único que necesitará el usuario es tener descargada la aplicación móvil del supermercado, con la cual el cliente se conectará vía Bluetooth con el carrito que haya cogido. A través de la aplicación el usuario deberá escanear los productos que desee comprar antes de introducirlos en el carrito. De esta manera, los datos se enviarán directamente al microcontrolador vía Bluetooth, entonces el cliente verá reflejados los productos que haya escaneado en la pantalla incorporada en el carrito. A través de ella podrá modificar las unidades, evitando así la molestia de tener que escanear un mismo producto varias veces. En el caso del escáner, éste estaría conectado directamente al microcontrolador, por lo que la conexión no sería inalámbrica.

Se podría plantear la posibilidad de combinar ambos sistemas, o simplemente, habilitar unos carritos con pistola y otros sin. De esta manera, los clientes que no tuvieran *Smartphone*, cogerían los carritos con escáner incluido y los que sí tuvieran, los otros.

Descripción de los componentes

Circuito de amplificado y filtrado de la señal

Como se ha comentado, para la adquisición de los datos de la unidad de pesado, es necesario un previo acondicionamiento de la señal para hacer medidas eficaces de las células de carga. Los requisitos básicos para hacer una medida de una célula de carga son la excitación, la amplificación de la señal y el equilibrado del puente.

Las células de carga seleccionadas por mi compañero de proyecto Carlos Darder son las SX-1 de la marca Senel. Son unas células tipo S que han sido seleccionadas básicamente por su perfecta adaptación a la estructura del carrito y al sistema de pesado que se ha diseñado.



Fig. 6.2.1 – Células de carga SX-1.

Fuente: Web Senel

El voltaje de alimentación recomendado para estas células es entre 5 y 15 V, por lo tanto, para la excitación de las células de carga se usará directamente la batería que alimentará a todos los componentes del sistema. Ésta tensión (7,4 V) parece adecuada ya que una mayor tensión de excitación generaría proporcionalmente una mayor tensión de salida, pero podría causar también mayores errores debidos al auto-calentamiento. Es muy importante que la tensión de excitación sea muy precisa y estable, por lo que habrá que tenerlo en cuenta a la hora de seleccionar la batería.

La salida de las células de carga normalmente es relativamente pequeña. En este caso en concreto las células seleccionadas proporcionan una salida de 2 mV/V, es decir, con una tensión de excitación de 7,4 V, la señal de salida es de 14,8 mV. Por lo tanto, será necesario un acondicionador de señal de las células de carga. Esto incluye, generalmente, un amplificador para amplificar la señal y un filtro pasa bajos, para así incrementar el nivel de resolución de la medida y mejorar la relación señal-ruido.

La decisión del circuito, estará determinada por la precisión que se quiera tener en el sistema de pesado. Las entradas analógicas del Beaglebone Black tienen una resolución de 12 bits, por lo tanto, su salida es un valor entre 0 y 4095 (a través de código se transforma la lectura en peso). Las células de carga, también tienen una precisión y una capacidad de peso máximo. En función de si la precisión de las células es menor o mayor que la de las entradas analógicas del Beaglebone Black, se utilizará éste para realizar la conversión analógica-digital o no.

Pongamos un ejemplo, si las células seleccionadas tienen un rango de peso de 75 kg y la clase de precisión es C3, es decir, 3000 divisiones, la precisión de las células será de $75000/3000 = 25$ gramos. Por otro lado, si hacemos que los 75 kg se correspondan con el voltaje máximo admisible en las entradas analógicas del microcontrolador (1,8 V) y por lo tanto se trabaja en todo el rango disponible, la precisión sería de $75000/4095 = 18,3$ gramos. En este caso, se podría utilizar el mismo Beaglebone Black para realizar la conversión analógico-digital, ya que éste tendría más resolución que la precisión de las células de carga. Únicamente se debería utilizar un amplificador de instrumentación, que aumentara la salida de las células de carga y, de esta manera, permitiera realizar las lecturas con el microcontrolador.

En el caso opuesto, se debería colocar un convertidor ADC (del inglés, Analog-to-Digital Converter) de una resolución mayor a los 12 bits que ofrece el Beaglebone Black. Una vez

hecha la conversión, la salida del convertidor se conectaría al Beaglebone, pero esta vez como entrada digital. Una buena elección sería el ADS1231, que es un convertidor de 24 bits con unas características específicas para sensores con puentes de Wheatstone, como en nuestro caso.

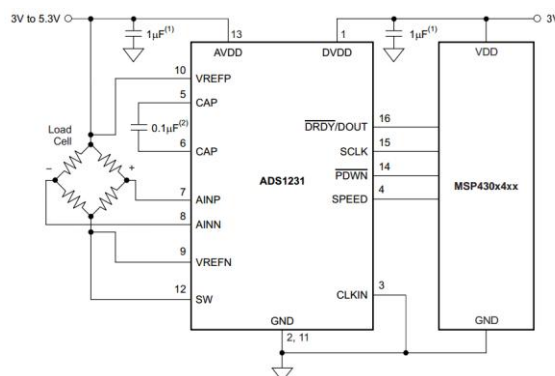


Fig. 6.2.2 – Conexión típica del ADS1231 en una balanza.

Fuente: Texas Instruments

Cuando se instala un puente es muy poco probable que el puente dé como salida exactamente 0 V cuando no se aplica tensión. Por el contrario, ligeras variaciones entre las resistencias del puente y la resistencia de los cables pueden generar una tensión inicial distinta de 0 V (tensión de “offset”). Existen distintos modos en que un sistema puede manejar esta tensión inicial de “offset”.

1. *Compensación por Software*: el primer método compensa la tensión inicial de “offset” mediante software. Con este método, se toma una medida inicial antes de aplicar la tensión de entrada. Esto también se conoce como auto-cero. Este método es simple, rápido y no requiere ajustes manuales. La desventaja del método de compensación por software es que no se eliminará la tensión real de “offset” del puente. Si el “offset” es lo suficientemente grande, se limitará la ganancia que el amplificador puede aplicar a la tensión de salida, por lo tanto limitará el rango dinámico de la medida.
2. *Circuito de anulación del “offset”*: el segundo método de equilibrado consiste en una resistencia regulable, o potenciómetro, para ajustar físicamente la salida del puente a 0V. Al variar la posición del potenciómetro se puede controlar el nivel de la salida del puente – ajuste inicial de la salida a 0 V.
3. *Anulación del “offset” mediante “buffer”*: el tercer método, al igual que el método de equilibrado por software, no afecta al puente directamente. Con un buffer de

anulación, un circuito de anulación añade una tensión ajustable a la salida del amplificador de instrumentación.

En este caso en concreto el sistema que mejor se adapta es el de compensación por Software. De esta manera el cliente no tiene que preocuparse de calibrar la balanza sino que automáticamente cuando un cliente inicie el proceso de compra, el sistema tomará una medida de la tensión de “offset”. Ésta será tomada como referencia y se le atribuirá el peso de cero gramos.

Beaglebone Black

Beaglebone Black [14] es una placa de desarrollo creada en base a un microprocesador AM335x ARM Cortex-A8 de la clase Sitara de Texas Instruments que funciona a 1 GHz.

Las principales características de esta minicomputadora son dos PRU SS RISC de 32 bits, un acelerador gráfico 3D, 2 GB de memoria flash integrada y 512 MB de memoria RAM,

además de una ranura microSD. En lo que a puertos se refiere, incluye dos entradas USB, una tipo host de tamaño estándar y otro micro USB tipo client port. También tiene una conexión Ethernet, una salida micro-HDMI y dos conectores de 46 pins.

El sistema operativo por defecto es Angstrom Linux, que viene incluido de serie en la memoria interna, pero también soporta Ubuntu o Android. A continuación se pueden ver sus características principales:

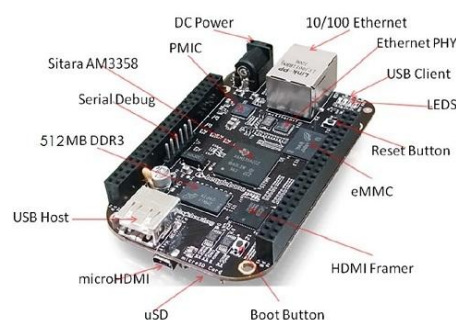


Fig. 6.2.3 – Beaglebone Black.

Fuente: Maker Shed

	Características	
Procesador	Sitara AM3359AZCZ100 1 GHz, 2000 MIPS0	
Motor gráfico	SGX530 3D, 20 M Polygons/S	
Memoria SDRAM	512 MB DDR3L 800 MHz	
Memoria Flash	2 GB, 8 Bit MMC embebida	
PMIC	TPS65217C PMIC regulador i un LDO adicional	
Debug Support	20-pin CTI JTAG opcional, Cabezal serie	
Fuente de alimentación	Mini USB, USB o Conector de alimentación	5 V DC Externos vía conector de ampliación
PCB	86 x 53 mm	6 capas

Indicadores	LEDs: 1 de Alimentación, 2 de Ethernet i 4 controlables por el usuario
HS USB 3.0 Client Port	Acceso a USB0 vía mini USB, tipo cliente
HS USB 2.0 Host Port	Acceso a USB1, Tipo A Socket, 500 mA LS/FS/HS
Puerto Serial	Acceso UART0 vía pin 6 3.3 V TTL cabezal.
Ethernet	10/100, RJ45
Conector SD/MMC	microSD, 3.3 V
Entradas del usuario	Botón Reset, Botón Arranque, Botón Alimentación
Salida de vídeo	16b HDMI, 1280X1024 (MAX) 1024x768, 1280x720, 1440x900, 1920x1080@24Hz
Audio	Vía conexión HDMI, Estéreo
Conectores de expansión	Power 5V, 3.3V , VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O en todas las señales McASP0, SPI1, I2C, GPIO(69 máx), LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7 AIN(1.8V MAX), 4 temporizadores, 4 Puertos Serie, CAN0, EHRPWM(0,2), XDMA Interrupt, Power button, Expansion Board ID (Hasta 4 pueden ser montados)
Peso	39.68 gramos

Tabla 6.2.1 – Características del Beaglebone Black

Pantalla táctil

La pantalla táctil es la encargada de interactuar con el cliente e informarle del estado de su compra en todo momento. La pantalla estará situada en el mango del carrito, ya que es un lugar cómodo para la interacción con el usuario y



desde el punto de vista del diseño es el lugar más ergonómico. Esta ubicación

Fig. 6.2.4 - BB-View cape. Fuente: Element 14

permite la consulta de datos con facilidad y a parte no supone una reducción del volumen de la cesta del carrito. Al no estar limitados por cuestiones de espacio, se ha podido seleccionar una pantalla relativamente grande que permita exponer más información y consultarla de manera más fácil. Dado que es un sistema novedoso y dirigido a un rango de clientes muy amplio, el tamaño grande de la pantalla permitirá a los compradores interiorizar más rápidamente su funcionamiento.

La pantalla que se ha elegido es la BB-View de Element14, que es una capa o expansión para Beaglebone Black que consiste en una pantalla táctil resistiva de 7" TFT LCD (*Thin Film Transistor – Liquid Crystal Display*). Ha sido diseñada específicamente para el BeagleBone Black, que recordemos es el que controlará el sistema.

Éste va conectado a la pantalla LCD a través de un cable FPC (*Flexible Printed Cable*) y además al ser una expansión para Beaglebone Black extiende las entradas y salidas del mismo permitiendo así a los usuarios utilizar el módulo LCD con pantalla táctil sin sacrificar el acceso de interfaz de E/S. Otra facilidad que ofrece es que la pantalla táctil se alimenta directamente de la placa eliminando así la necesidad de alimentación externa.

	Característica
Tamaño LCD	7 pulgadas
Tipo panel	a-Si TFT matriz activa
Resolución	800 x 480
Colores	16.7M
Interface	RGB 16-bit
Pantalla táctil	Resistiva
Voltaje alimentación	5 V
Intensidad alimentación	750 – 1000 mA

Tabla 6.2.2 – Características principales de la BB View Cape

Módulo Bluetooth

Como el Beaglebone Black no tiene conexión Bluetooth, se deberá incorporar un adaptador para que así se puedan intercambiar datos con el *Smartphone* y con el terminal de cobro. Al tener el Beaglebone Black un puerto USB, se utilizará para conectar un adaptador Bluetooth con conexión USB. Se ha seleccionado el IOGEAR Bluetooth 4.0 USB Micro Adapter, por sus pequeñas dimensiones, pero muchos otros modelos podrían servir para realizar esta función.



Fig. 6.2.5 – IOGEAR Bluetooth.

Fuente: logear

Batería

Para la elección de la batería se han tenido en cuenta tres factores que ésta debía cumplir para el correcto funcionamiento de todo el sistema.

En primer lugar, que el circuito de alimentación fuera capaz de proporcionar todas las tensiones requeridas por el conjunto de circuitos. Esto significa que para que los costes sean más reducidos y la autonomía sea mayor, la batería debe proporcionar las tensiones máximas, para evitar el uso de convertidores boost, que suponen un incremento de precio en el circuito y un incremento significativo del consumo de energía, dado el bajo rendimiento de estos convertidores.

En segundo lugar, era necesario que la batería fuera capaz de proporcionar la corriente necesaria para el buen funcionamiento del circuito en condiciones cercanas a las nominales. Todas las baterías permiten servir corrientes de pico muy superiores a sus niveles nominales, pero esto provoca bajadas sustanciales en la carga de la batería que reducen el tiempo necesario entre cargas.

Por último, se ha tenido en cuenta que no fuera necesario recargar la batería durante el periodo en que el supermercado está abierto, es decir, la batería debe permitir el uso continuado del sistema durante unas 12 horas, que corresponden al horario de apertura de nuestros clientes objetivo.

Para poder cumplir todas estas condiciones realizamos un estudio de los voltajes y corrientes nominales requeridas por los diferentes sub-circuitos:

Componente	Voltaje (V)	Corriente nominal (mA)
Beaglebone Black	5	210 -460
Pantalla Táctil LCD	5	1000
Módulo Bluetooth	5	500
Células de carga	5 - 15	10*

Tabla 6.2.3 – Especificaciones eléctricas de los componentes

* Es una estimación, ya que la intensidad dependerá de la carga, pero en cualquier caso el valor será despreciable respecto al de los demás componentes

A partir de los datos anteriores obtenemos que las características de la batería a buscar son una tensión nominal de 5 V, una intensidad nominal a esa tensión de 1,5 A, y que en las condiciones anteriores aguante la jornada completa comercial de 12 horas. Hay que dimensionando las baterías de esta manera, probablemente estarían sobredimensionadas, ya que el consumo sería este si el carrito estuviera en funcionamiento y las pantallas encendidas durante todo el día. El consumo de éstas disminuye significativamente cuando no se utilizan, ya que se puede programar que se apaguen los LED's que la iluminan.

Tras contemplar varias posibilidades, finalmente se han escogido unas baterías de Litio-Ion de 3.7 V y 10 Ah de capacidad del fabricante UL. Cómo se necesitamos una tensión mayor para alimentar los componentes, se deberán colocar dos en serie y así tener 7,4 voltios. Éste voltaje es adecuado para alimentar directamente a las células de carga, pero para alimentar el Beaglebone Black, se deberá generar la tensión de referencia de 5 V. Para ello se utilizará el circuito REF-02 que genera sin más problemas la tensión deseada.



Fig. 6.2.6 – Batería Li-Ion 3.7V 10Ah.

Fuente: Battery space



Fig. 6.2.7 - Ref-02. Fuente: Texas

Instruments

Otra ventaja que tenían las células es que por sus dimensiones y forma, eran adecuadas para colocarlas detrás de la pantalla seleccionada para el carrito. Así se facilitaba bastante la incorporación de todo el sistema en el carrito.

Con dos baterías en serie, la capacidad seguiría siendo de 10 Ah. Si tenemos en cuenta que la descarga se realizará a aproximadamente 1,5 A, podemos calcular que aproximadamente se tendrá una autonomía de 6,6 horas, aunque la relación no es completamente lineal. Según la hoja de especificaciones, una descarga a 0,2C, que serían 2 A, la duración de la batería sería superior a las 5 horas. Por lo tanto ya nos podemos hacer una idea de que la autonomía rondaría las 6 horas.

Si no se considerara suficiente, se deberían colocar dos células más en paralelo y se duplicaría la capacidad. Pero se ha considerado excesivo, ya que probablemente el consumo de corriente sea menor al que se ha utilizado para dimensionar las baterías, y la autonomía sería superior a las 6 horas calculadas.

Si se construyen estos packs de baterías de manera autónoma, se deben instalar un BMS (en inglés, *Battery Management System*), que es un dispositivo electrónico que gestiona y controla las celdas recargables y se usa comúnmente para controlar baterías compuestas de varias celdas. Para las baterías de litio su uso se hace casi indispensable debido a la delicadeza de este tipo de baterías. Las funciones primordiales del BMS son controlar y proteger las células de la batería, prolongar su vida útil, ecualización de los voltajes de las diferentes celdas y mantener la batería en un estado en el que pueda cumplir con los requisitos para la que se ha especificado. Los parámetros de protección básicos suelen ser: exceso de corriente durante la carga o la descarga, cortocircuito, sobrecargas, sobre-descargas, control de la temperatura ambiente o sobrecalentamiento. Y lo hace controlando el estado de la batería a través de varios parámetros como pueden ser el voltaje, la intensidad, la temperatura, el estado de carga (SOC, en inglés, *State of Charge*), la profundidad de descarga (DOD, en inglés, *Depth of Discharge*) o estado de vida (SOH, en inglés, *State of Health*).

Con las baterías que se han elegido, necesitamos que se controlen los siguientes parámetros:

- Protección ante sobrecargas superiores a 4,2 V/celda
- Protección antes sobre-descargas inferiores a 2,5 V/celda
- Protección de la máxima corriente de drenaje
- Protección ante cortocircuito

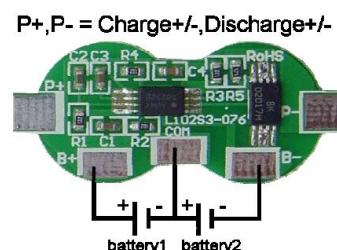


Fig. 6.2.8 – Conexión PCM.

Fuente: BatterySpace

Por lo tanto vamos a necesitar un PCB o PCM (en inglés, *Protection Circuit Board o Module*) que son unas pequeñas plaquitas que realizan las funciones previamente comentadas. Se ha elegido el modelo PCB-S2A7B, que es un modelo para packs de baterías de dos celdas Li-ion de 7,4 V con una corriente de descarga inferior a los 3 A.

6.3. Puesto de cobro

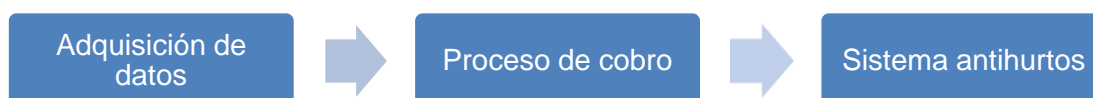
Especificaciones

Las especificaciones de este sistema son las que a continuación mencionamos:

- Tiempo de cobro inferior a 1,5 minutos.
- La facilidad de uso es uno de los aspectos principales. Para establecer una referencia el sistema debe ser igual de fácil que una máquina de cobro de un parking.
- Debe ser capaz de recibir los datos de la compra que se le envíen desde los carritos vía Bluetooth.
- Tiene que estar conectada con la base de datos central y ser capaz de transmitirle la información de la compra vía Ethernet.
- El sistema tiene que tener una autoprotección contra acciones anómalas al uso habitual, como robos, golpes, etc.
- Facilidad de mantenimiento: tiene que ser fácil el cambio de componentes, ya sea por avería o por actualización de éstos.
- Debe permitir el pago por tarjeta y permitir una posible expansión en caso de que se quisiera añadir el pago en efectivo.
- Resolución rápida de errores (conexión con el sistema de control para que acudan a la ayuda o reparación)
- Debe de ser un sistema seguro, que no dé facilidades de hurto a los clientes.

Morfología del Puesto de cobro

El puesto de cobro puede dividirse en tres grandes bloques funcionales, todos ellos controlados por un PC. El primer bloque sería el de adquisición de los datos transmitidos desde el carrito, el segundo el del proceso de cobro y el tercero el sistema anti hurtos.



Cuando el cliente decide finalizar la compra, la unidad de control comprueba que el peso era el correcto, y si es así, envía los datos de la compra al terminal de pago. En este momento es cuando empezaría la función del terminal de cobro.

1. Adquisición de datos

Este sistema consiste en un módulo Bluetooth que recibirá la información que se le envíe desde el carrito. Recordemos que los datos sólo serán enviados si el peso del carrito es el correcto, con lo cual ahora el sistema se limitará a recibir los productos, cantidades y el importe que se le debe cobrar al cliente en cuestión. El sistema transmitirá la información a la base de datos central Ethernet, para así tener un control del stock y la demanda en el supermercado.

2. Proceso de cobro

Este bloque corresponde a la estación de cobro en sí, por tanto está formada por los diferentes elementos necesarios para efectuar el cobro. En un principio el pago se realizará por tarjeta, aunque se dejaría abierta la posibilidad de incorporar el pago en efectivo. Todo será automático y sin la intervención del personal del supermercado.

El cliente, cuando llegue al puesto de cobro, deberá tocar la pantalla y ahí le aparecerá un código. Entonces, deberá introducir el código en la pantalla de su carrito y éste automáticamente procederá a realizar la comprobación de peso. Si el peso del carrito coincide con la lista de la compra, los datos se enviarán a la máquina de cobro y el cliente verá en la pantalla el importe que debe pagar. Sólo quedará introducir la tarjeta de crédito por la ranura del lector y se pasará a realizar la validación de la tarjeta mediante el código PIN, el cual se introducirá mediante el teclado de la pantalla táctil. En caso de que sea correcto, se transmitirá el importe contactando con el banco vía Internet (gracias a una conexión ADSL). Acto seguido se devolvería la tarjeta al cliente y aquí finalizarían las funciones correspondientes al proceso de cobro.

Los componentes que formarán el terminal de pago son los siguientes:

- Lector de tarjetas de crédito.
- Impresora térmica para imprimir la lista de la compra.

- Pantalla táctil para mostrar información e introducir el código PIN de la tarjeta.
- PC donde se almacena la base de datos y los programas de cobro necesarios.
- Bluetooth para recibir los datos enviados desde el carrito.
- Fuente de alimentación suplementaria de 12 V DC

3. Sistema antihurtos

La función de este bloque es evitar los hurtos mediante un mecanismo de puertas normalmente cerrado y que sólo se abrirá en caso de que el terminal de pago envíe una señal conforme la operación de cobro se ha realizado correctamente. De esta manera si el cliente ha realizado la operación de pago sin ninguna anomalía, las puertas se abrirán dejando paso libre al cliente con su carro. Con este sistema se evitará que un cliente salga del establecimiento sin pagar.

Descripción de los componentes

Una vez descritos los bloques funcionales del puesto de cobro, se determinará cuales han sido los componentes que se han escogido para constituirlos. El proceso ha sido el siguiente: a partir de las especificaciones y requerimientos necesarios para cada bloque, se han buscado componentes ya existentes y se han seleccionado aquellos más idóneos para la aplicación deseada. La idea es que haya más de un terminal de cobro en los establecimientos, pero de momento se seleccionaran los componentes correspondientes a una sola unidad de cobro automático, entendiendo que se haría un diseño modular replicable.

Lector de tarjetas de crédito

Se han considerado dos opciones para el lector de tarjetas, los manuales y los motorizados. En el primero la tarjeta tiene que ser pasada por el lector por el mismo cliente, mientras que en el segundo, colocas la tarjeta en la ranura y el mecanismo la coge. Por su funcionalidad y comodidad para el usuario se optó por el motorizado, ya que exime al usuario de trabajo alguno y además no da tantos errores de lectura debido a que es el propio mecanismo el que coloca la tarjeta en la posición idónea para su lectura.

El modelo seleccionado es el V2BF de Hitachi-Omron que básicamente se ha escogido por su diseño compacto. La conexión con el PC del puesto de cobro se realiza por conexión RS232. El problema es que necesita una tensión de alimentación de 12 VDC, por lo que se tendrá que añadir una fuente de alimentación de esa tensión.



Fig. 6.3.1 – Lector de tarjetas de crédito
Fuente: Hitachi-Omron

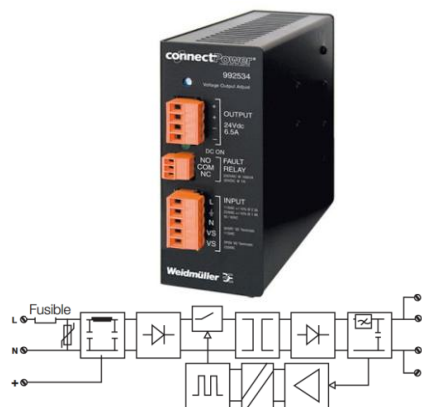


Fig. 6.3.2 – Fuente alimentación 12 VDC
Fuente: Weidmüller

Se ha elegido una fuente de alimentación conmutada de la marca Weidmüller, concretamente el modelo CP SNT 55W 12-15 V 3 A. Como su nombre indica, proporciona una potencia de 55 W, que es superior a la requerida por el lector de tarjetas de crédito.

Impresora para imprimir la lista de la compra

Su función es expedir el recibo de compra del cliente una vez éste ha realizado el pago. Se barajaron dos posibilidades, las impresoras térmicas y las matriciales (también conocidas como *de impacto* o *de ajuga*, respectivamente). Se tuvieron en cuenta varios aspectos, tales como la fiabilidad, rapidez, calidad de impresión, silencio de funcionamiento, conexión, coste de mantenimiento o inversión en la compra.

Las impresoras matriciales dibujan el texto mediante impactos, con una técnica similar a las de las máquinas de escribir. Hacen ruido, necesitan tinta de vez en cuando, tienen menor calidad de impresión y son más lentas que las impresoras térmicas. Como ventajas, usan papel normal (más barato y fácil de encontrar que el térmico), admiten papel con copia y son más baratas que las térmicas.

Las impresoras térmicas dibujan el texto mediante calor, calientan el papel para que aparezca el texto. No hacen ruido, no necesitan tinta y son muy rápidas, pero el papel es

más caro que el normal. A diferencia de las matriciales, también pueden imprimir códigos de barras o logotipos en los tickets. Además la calidad de impresión es constante a lo largo del ciclo, eso sí, el periodo de vida de la impresión es inferior.

En cuanto al precio de adquisición, ya hay impresoras térmicas sólo un poco más caras (menos de un 10 %) que una matricial, y aunque tiene algunas limitaciones son perfectamente válidas para este caso en concreto. Este precio se compensa sobradamente por la rapidez de impresión, el silencio y, dado el menor número de piezas móviles, la mayor fiabilidad.

En cuanto a los inconvenientes de las impresoras térmicas, el costo de mantenimiento es mayor, pero a cambio se mantiene en todo momento una muy alta calidad de impresión. En las matriciales, tanto el papel como la cinta entintadora son más económicos pero realmente la calidad de impresión se va perdiendo de forma apreciable a partir de la segunda pasada de la cinta.

El problema de la relativamente poca duración de una impresión térmica, tan solo afectaría si fuera imprescindible que el ticket tuviera una vida muy larga, como por ejemplo en el caso de una garantía. Pero para este uso es irrelevante, ya que va a durar lo suficiente.

En resumen, por rapidez de impresión, silencio en su funcionamiento, calidad de impresión e imagen se tomó la decisión de utilizar una térmica. Por lo que se barajaron diversas posibilidades entre estas según el tipo de conexión.

- La conexión RS-232, es más lenta que las otras, y casi ya está en peligro de "extinción". Cada vez se usa menos el RS-232 y como se ha comentado, estas impresoras duran mucho tiempo. Así que se podría dar la situación de que en unos años se decidiera cambiar el PC del puesto de cobro y éste no tuviera conexión RS-232 (se venden adaptadores RS232-USB que podrían ser una solución).
- Otra opción son las impresoras LPT o puerto paralelo. Es un puerto rápido, bidireccional, y que se usa casi en exclusiva para impresoras.
- La tercera opción es la conexión USB, que probablemente es la más recomendable ya que, a pesar de ser la que menos tiempo lleva en el mercado,

funciona perfectamente y además, hoy en día todos los ordenadores tienen conexiones USB. Aunque suelen ser un poco más caras.

Finalmente la elegida ha sido la Epson TM-T20 que es una impresora térmica y con conexión USB. Se ha elegido esta impresora ya que Epson es la marca más consolidada en este sector, y además nos ofrece unas buenas funcionalidades. Es compatible con todos los sistemas operativos actuales y además, lleva incluidos un adaptador integrado de CA (corriente alterna), el cable de CA, y el cable de interfaz. Por lo que puede ir conectado directamente a la red, ahorrándonos de esta manera una fuente de alimentación suplementaria. Imprime a una velocidad de 150 mm por segundo, lo que nos asegura una rápida impresión. Además las dimensiones del rollo de papel son de 80 mm, que es la medida estándar de los tickets.



Fig. 6.3.3 - Impresora Epson TM-T20.

Fuente: PC Components

Pantalla táctil para mostrar información e introducir el código PIN de la tarjeta

La función de la pantalla será permitir al cliente ver su lista de la compra, así como el precio que deberá pagar, antes de proceder a ello. Posteriormente también servirá para que el cliente introduzca el código pin de su tarjeta de crédito.



Fig. 6.3.4 – Pantalla táctil. Fuente: Comercial TPV

Se decidió utilizar una pantalla táctil para hacer el puesto de cobro más compacto y de esta manera no tener que incorporar un teclado adicional. Finalmente se escogió un monitor táctil de 15 pulgadas TFT-LCD (Thin Film Transistor – Liquid Crystal Display) resistiva de 5 hilos, con una resolución de 1024x768. El monitor es del fabricante MaxPos y el modelo es el DTK-1598. Es parecida a la escogida para el carrito pero de mayor dimensión, ya que de esta manera se podrá introducir fácilmente el código pin y visualizar la lista de la

compra. La conexión de la pantalla táctil al PC se realizará mediante una conexión USB y se alimentará directamente de la red.

PC para la base de datos y los programas de cobro.

El PC del puesto de cobro deberá tener toda la información de los productos, además deberá ser capaz de soportar sin problema los programas del sistema de cobro. Hoy en día la mayoría de ordenadores cumplen estos requisitos, por lo que no se especificará ningún modelo en concreto. Probablemente con un procesador Intel Core i5, de dos o cuatro núcleos de 2GHz de velocidad, 4GB de memoria RAM y 500 GB de memoria ya sería suficiente. También se podría poner un disco duro de 500 GB adicional, por si falla el principal que no falle todo el sistema. Además, también debería tener puertos USB y RS-232 para las conexiones con los periféricos instalados. El sistema operativo podría ser Windows 7, ya que es el que más software para el TPV soporta. Por último, necesitaría conexión a red mediante ADSL, ya que el flujo de información entre el PC y las diferentes sucursales bancarias y entre el PC y la base de datos general y la unidad de control manual situada en el mismo establecimiento tiene que ser lo más rápida posible.

Sistema de puertas de accionamiento eléctrico

La función de este sistema es evitar que un cliente salga del supermercado sin pagar. Como el pago en el sistema diseñado se realiza sin ningún control humano, es necesario un sistema físico que únicamente deje salir a los clientes si han realizado el pago. Por ello se pensó en un mecanismo de puertas que estuviera normalmente cerrado y que sólo se abriera cuando el puesto de cobro le diera la señal. De ésta manera, cuando el cliente hubiera pagado, el PC mandaría la señal a las puertas para que se abrieran y el cliente podría salir.

Después de barajar diversas opciones, finalmente el modelo escogido ha sido el “PNG390 Twin” de Automatic Systems. El sistema consiste en un pasillo de seguridad, formado por dos módulos longitudinales situados en los laterales, que cada uno lleva incorporado un cristal grueso, que impide el paso de la gente entre los dos módulos. Una de las razones por las que se ha elegido este modelo es porque la anchura de los pasillos es de 900 mm y por lo tanto permiten el paso de los carritos de la compra (630 mm de ancho máximo) perfectamente. Otra de las razones es su versatilidad, ya que pueden ofrecer diferentes configuraciones. Si se desea una única salida, solo se necesitan los dos módulos de la Fig. 6.3.6 pero en caso de querer varios pasillos adyacentes para optimizar espacio y rendimiento, existe la versión PNG380 Twin (Fig. 6.3.5), que ofrece dos pasillos compactos independientes. Mediante la combinación de ambos se pueden colocar tantos pasillos como

se desee. Los diversos elementos van fijados al suelo y alimentados a 230 V, con una toma de tierra para cada uno.



Fig. 6.3.6 – PNG390

Fuente: Automatic Systems



Fig. 6.3.5 – PNG390 Twin

Fuente: Automatic Systems

El mecanismo dispone de un puerto USB para configurar el funcionamiento del microcontrolador que controla las puertas. Así se podrá conectar directamente al PC del puesto de cobro, a través del cual se le mandarán las órdenes. Entonces se podrá programar que señal corresponde al estado activo (por ejemplo, bit de entrada = 1) y cual corresponde al estado inactivo (bit de entrada = 0). De esta manera si recibe un “0”, las puertas se mantendrán cerradas impidiendo el paso, mientras que si recibe una señal igual a “1”, las puertas se abrirán.

6.4. Posible control de la compra a determinados clientes

Especificaciones

- Ayudar a los clientes que no hayan pasado el control de peso y, por lo tanto, el puesto de cobro no les deje pagar.
- Detectar a aquellos clientes que hayan intentado burlar el sistema de control por peso.
- Coaccionar a aquellos clientes con intención de hurtar.
- Obtener información sobre el rendimiento y la eficacia del sistema de pesado.
- Crear una base de datos con la información de los controles para realizar estudios estadísticos.

Funcionamiento

Esta etapa únicamente la pasaran algunos clientes y, por lo tanto, no es una etapa del proceso de compra estándar. Consiste en una revisión manual de la compra que se realizará únicamente a los clientes que no hayan podido realizar el pago correctamente, es decir, que el peso de su carrito no haya coincidido con el de su lista de la compra.

También podrán ser retenidos aquellos clientes que hayan sido observados, a través de las cámaras de vigilancia, intentando burlar el sistema durante la compra o se sospeche que hayan podido realizar algunas irregularidades.

Además de estos controles debidos a anomalías, también está previsto realizar controles periódicos al azar. Así se tendrá información sobre la efectividad del sistema y se podrán aplicar posibles medidas correctoras en el caso de que se detecten muchas anomalías en los controles. Además, al saber los clientes que se realizan controles al azar, éstos se verían coaccionados ante la posibilidad de hurtar y por lo tanto, reduciría significativamente los hurtos.

En dichos controles, se verificarían tres aspectos principalmente. En primer lugar, que todos los productos depositados en el carro estén en la lista. En este caso podría pasar que el cliente estuviera tratando de robar, que las unidades lectoras hayan fallado, o que el cliente haya olvidado de modificar las unidades en su lista.

En segundo lugar se comprobaría el caso opuesto, es decir, que en el carrito no hubiera todos los productos leídos por el escáner. Podría pasar que un cliente decidiera dejar un producto que antes había escaneado, pero no se acordara de quitarlo de la lista.

Por último, se comprobaría si, a pesar de coincidir los productos de la cesta con los de la lista, el peso total acumulado se hubiera desviado significativamente del peso estimado. En este caso el problema sería del sistema de pesado del carrito, y se revisaría si ha sido un hecho puntual o el determinado carrito necesita un ajuste.

Se crearía una base de datos con los resultados e información de todos los controles, para así poder realizar un estudio estadístico. No solamente para saber qué carros necesitan ser reparados, sino también para determinar el tipo de cliente que más hurta o las franjas horarias más conflictivas.

A los clientes que pasaran el control positivamente, se les ofrecería un descuento, oferta o regalo por las molestias ocasionadas, y de esta manera Para recompensar las molestias a aquellos clientes sometidos al control y que el estado de su compra fuera correcto, se les podría ofrecer algún tipo de descuento u oferta en la siguiente compra.

6.5. Software

Aplicación móvil

A la hora de desarrollar una aplicación para *Smartphones* hay que tener en cuenta que existen varias plataformas móviles, siendo las más importantes Android, iOS, Windows Phone y Blackberry, y cada una de ellas tiene su propia metodología y lenguaje de desarrollo. Por eso, se debe analizar cuál es la tendencia del mercado de teléfonos móviles en cuanto a sistemas operativos, para así decantarnos por la que mayor presencia tenga.

Sistema operativo	Creador	Lenguaje de programación
BlackBerry OS	RIM	Java
iPhone OS	Apple	Objective C
Windows Phone	Microsoft	C#
Android	Google	Java

Tabla 6.5.1 – Características de los principales sistemas operativos

Según la agencia Kantar [15], muy referenciada para este tipo de analíticas, tanto iOS como Windows Phone han experimentado un ascenso en España en términos de cuota de mercado este último año. En el caso de iOS subiendo del 3,1% al 7,6% (un 4,5%). En el caso del sistema de Microsoft, el aumento es algo más tímido, quedándose en un 1,7%, de forma que ahora se establece en un 3% de cuota en el mercado español.

En cuanto a Android, sigue siendo el rey en España acumulando el 88,6% del mercado. A pesar de ello, las subidas en iOS y Windows Phone han afectado claramente a la popular plataforma y es que, en el mismo periodo del 2013, el sistema operativo gozaba de un porcentaje mayor, del 93,7%.

En el EU5 (Francia, Alemania, Italia, España y Reino Unido), en cambio, la cuota de mercado de Android ha aumentado ligeramente respecto al año pasado estando ahora en un 70,7%, principalmente gracias a la subida que ha experimentado en Italia, que ha sido superior al 8%.

Italy	3 m/e Mar 2013	3 m/e Mar 2014	% pt. Change	Japan	3 m/e Mar 2013	3 m/e Mar 2014	% pt. Change
Android	62.5	70.7	8.2	Android	46.0	41.5	-4.5
BlackBerry	2.5	1.2	-1.3	BlackBerry	0.7	0.0	-0.7
iOS	19.9	12.9	-7.0	iOS	49.0	57.6	8.6
Windows	10.9	13.9	3.0	Windows	0.3	0.9	0.6
Other	4.2	1.3	-2.9	Other	3.9	0.0	-3.9
Spain	3 m/e Mar 2013	3 m/e Mar 2014	% pt. Change	EU5	3 m/e Mar 2013	3 m/e Mar 2014	% pt. Change
Android	93.7	88.6	-5.1	Android	69.2	70.7	1.5
BlackBerry	0.2	0.0	-0.2	BlackBerry	2.6	1.1	-1.6
iOS	3.1	7.6	4.5	iOS	19.1	19.2	0.1
Windows	1.3	3.0	1.7	Windows	6.5	8.1	1.6
Other	1.8	0.8	-1.0	Other	2.6	0.9	-1.7

Fig. 6.5.1 – Extracto de los datos de Kantar. Fuente: TechCrunch

Vistos estos datos, probablemente se apostaría por crear inicialmente la aplicación para Android y, en función de la aceptación del sistema se plantearía la creación de ésta para iPhone. Para cada uno de los dos casos, las herramientas de desarrollo son diferentes así que a continuación se detallará cómo se haría en cada uno de los casos.

Android es una plataforma móvil basada en Linux que vio la luz en 2008, de la mano de Open Handset Alliance, liderada por Google. El entorno de trabajo oficial de Android es desarrollado por Google y cuenta con una página web en la que se explica, de manera detalla y con algunos ejemplos, el uso del entorno de desarrollo o API (del inglés *Application Programming Interface*) mediante el lenguaje de programación “Java”. Lo recomendable para el desarrollo de aplicaciones utilizando este API, llamado Android SDK, es la instalación de una plataforma integral de desarrollo (IDE) como Eclipse o NetBeans, que deben ser configurados para poder funcionar con el entorno de Android.

En el caso de iOS, que recordemos es la plataforma móvil de Apple, revolucionó el mercado hace ya 5 años y destaca gracias a su fluidez y diseño. Para desarrollar aplicaciones para iPhone es necesario familiarizarse con el lenguaje Objective-C, un superconjunto de C, orientado a objetos. Adicionalmente para poder trabajar sobre iOS es necesario comprender su API de desarrollo (iOS SDK). Además es preciso trabajar usando la herramienta de desarrollo Xcode, ya que es la única soportada oficialmente por Apple que está disponible para desarrollo de iOS.

Otra opción serían las aplicaciones híbridas [16] multiplataforma basadas en HTML5. Las aplicaciones híbridas nos permiten aprovechar un sólo desarrollo común en HTML5 y exportarlo a todas las plataformas. Como es lógico el resultado no será el mismo que el de una aplicación desarrollada en lenguaje nativo pero nos permitirá llegar a más plataformas con menos tiempo de desarrollo.

Software de la pantalla del carrito

El sistema operativo que viene por defecto en el Beaglebone Black es Angstrom Linux, pero instalar Ubuntu o Android no es nada complicado. También soporta Windows Embedded CE, QNX o ThreadX, por lo que las opciones son múltiples. Además viene con el Cloud9, que es un IDE que se ejecuta en un navegador y desde el navegador se puede acceder, compilar y ejecutar programas.

Entonces, la aplicación para la pantalla del carrito, mediante la cual se controlará el proceso de la compra y que servirá de interfaz con el cliente, se desarrollará con una plataforma de desarrollo u otra en función del sistema operativo que se elija para el Beaglebone Black. En principio las más habituales son Angstrom Linux y Android, aunque el Windows Embedded Compact 7 también sería una opción a contemplar.

En Angstrom Linux, que es la opción que viene por defecto, la aplicación se podría crear a través del VisualGDB [17], que es una opción del Visual Studio (cualquier versión desde la 2005). Entonces se escogería la opción “Linux Project Wizard” (Fig. 6.5.2) y como plantilla del proyecto “A Qt-based application” (Fig. 6.5.3). Qt es una biblioteca multiplataforma ampliamente usada para desarrollar aplicaciones con interfaz gráfica de usuario, así como también para el desarrollo de programas sin interfaz gráfica, como herramientas para la línea de comandos y consolas para servidores.

Como la construcción del proyecto en el Beaglebone Black podría ser muy lenta, se utilizaría un compilador cruzado (permite crear código ejecutable para otra plataforma distinta a aquella en la que el compilador se ejecuta) para que soportara Embedded Qt en Beaglebones (Fig. 6.5.4).

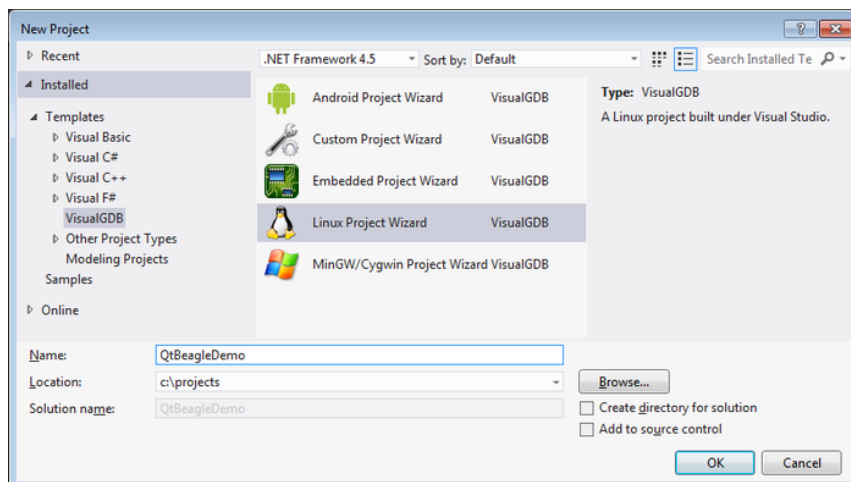


Fig. 6.5.2 – Crear un proyecto para Linux con VisualGDB

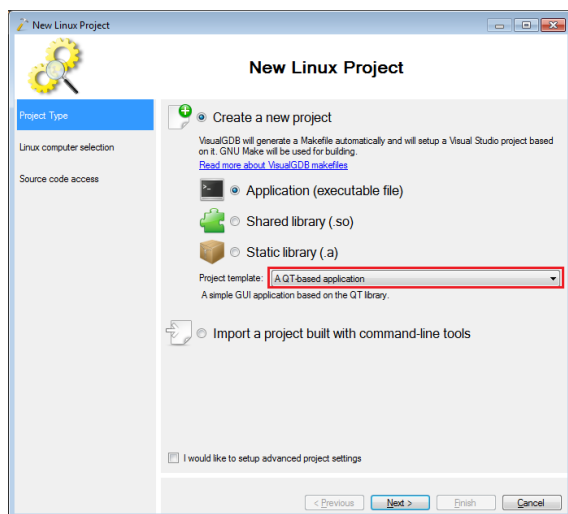


Fig. 6.5.3 – Seleccionar “A Qt-based application”

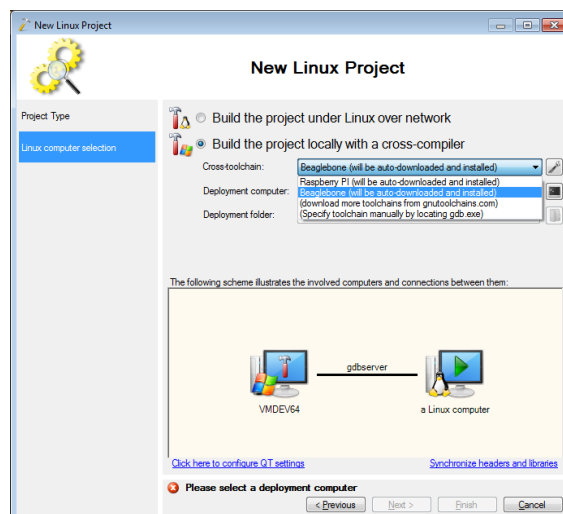


Fig. 6.5.4 – Opción compilador-cruzado para Beaglebone

7. Diseño y construcción del prototipo

7.1. Especificaciones

Con la realización de éste prototipo se ha tratado de dar una visión clara del proceso de compra y de reproducir el funcionamiento del sistema diseñado. Así se verá el tratamiento que da sistema a los diversos inputs y cómo es la interacción del éste con el usuario final, el cliente.

El objetivo ha sido conseguir un sistema en el que el cliente desarrolle el proceso de compra de la manera más sencilla e intuitiva para él, aún teniendo en cuenta los fuertes cambios que presentaría respecto al sistema de compra actual. Para ello, se ha intentado dotar de la máxima flexibilidad al sistema, para que el cliente disfrute de la misma libertad que posee en los sistemas actuales. Incluso se ha intentado mejorar el proceso de compra actual, dando información al cliente en todo momento, tanto del estado de su compra cómo de posibles ofertas que le puedan interesar.

7.2. Alcance

El prototipo no pretende ser una copia real del sistema final, de hecho no se ha desarrollado con los componentes seleccionados para éste. El prototipo tan solo pretende acercarnos a la solución final una vez implantada y simular su funcionamiento. A excepción de la parte final de pago, se ha simulado todo el sistema en su conjunto ya que se ha considerado que al ser un método de compra innovador al que el cliente no está acostumbrado sería de utilidad una demostración sobre su funcionamiento. Además, ésta simulación se ha realizado con la intención de demostrar que el sistema diseñado puede ser una solución real y que se adapta a las especificaciones del proyecto.

El alcance de la demostración va desde la creación de la aplicación móvil para escanear los productos, hasta el sistema de comprobación de peso final previo al pago, el cual ensambla el software informático de compra con la balanza de pesado de productos. A continuación se explicará cómo se han diseñado y desarrollado cada uno de los componentes del prototipo que simula el sistema final así como el funcionamiento integrado de todos ellos.

7.3. Hardware

Diseño

Como se ha comentado anteriormente, para la creación del prototipo, se han utilizado algunos componentes diferentes a los del sistema final. Lo que se pretende demostrar con este primer prototipo es el funcionamiento del sistema y el tratamiento de la información de los diversos periféricos que realiza el sistema. Para ello, no se consideró ni viable económicamente ni necesario comprar los elementos que iban a estar instalados en la realidad, sino que se buscaron componentes o sistemas que reprodujeran el funcionamiento del componente final. Para aquellos elementos que se han sustituido, en la Tabla 7.3.1 se puede ver la equivalencia entre los elementos del prototipo y lo que representarían en el sistema final.

PROTOTIPO	SISTEMA FINAL
Arduino UNO	Beaglebone Black
PC	Pantalla del carrito
Bascula de baño modificada	Sistema de pesado del carrito

Tabla 7.3.1 - Equivalencias entre componentes del sistema final y el prototipo

A continuación se explicarán detalladamente los componentes que se han utilizado para diseñar cada uno de los sistemas que componen el prototipo. Pero primero, igual que hemos hecho con el sistema final, vamos a explicar a través de un esquema de los componentes del prototipo el funcionamiento general.

Se utilizará la aplicación móvil que se ha creado para escanear los códigos de barras de los productos, que a través de Bluetooth se enviarán al Arduino. Éste estará alimentado mediante la conexión USB con el ordenador portátil, en el cual se ejecutará la aplicación creada en Visual Basic para la simulación de la pantalla del carrito. Por último, este mismo camino seguirán los datos que se enviarán desde la balanza que simula el sistema de pesado. La señal de la balanza, será adecuada con un amplificador de instrumentación para poder ser leída a través de un pin analógico del Arduino, que enviará a través de la conexión USB los datos al PC. Por lo tanto, el ordenador recibirá los códigos de barras y las lecturas de la balanza, y de esta manera se podrá simular el proceso de la compra diseñado.

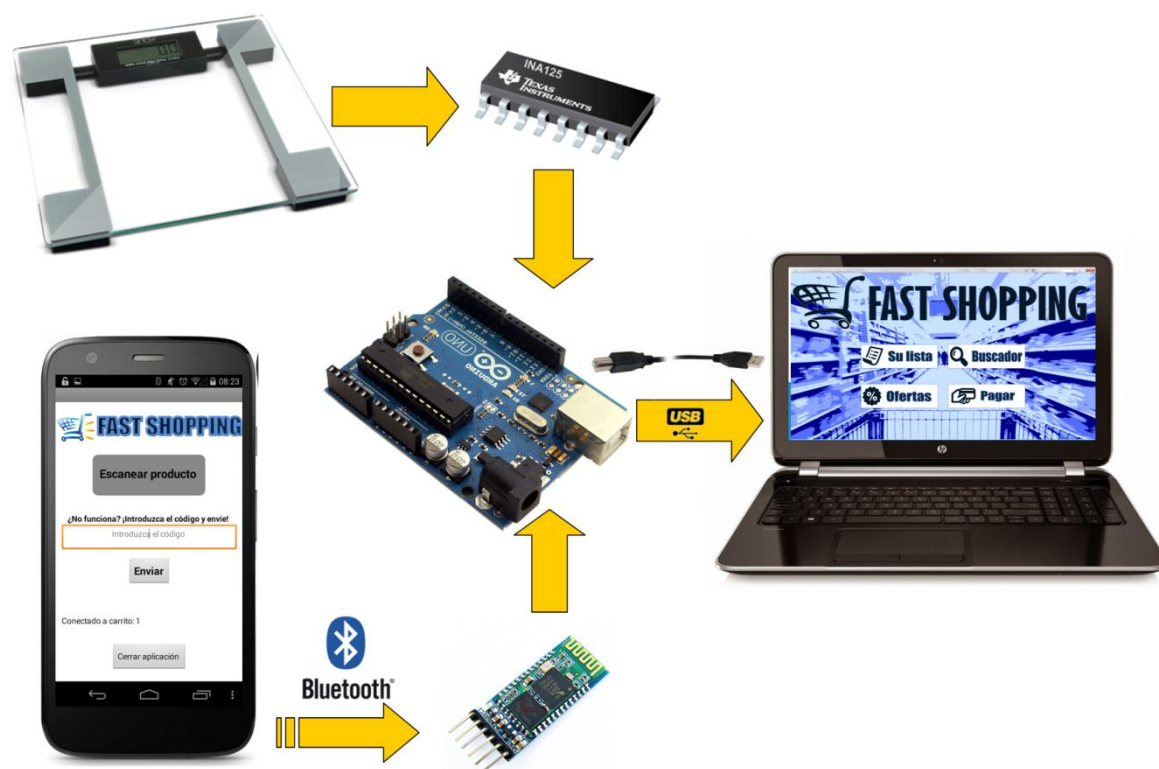


Fig. 7.3.1 – Esquema de componentes del prototipo

Arduino UNO

Para el prototipo se ha usado un Arduino UNO como sustituto del Beaglebone Black. Se ha elegido esta tarjeta de desarrollo ya que era la más accesible en el mercado y de la que más conocimiento se tenía, aparte de tener unas especificaciones suficientemente buenas para cumplir con los objetivos del prototipo.

Como indican sus creadores, Arduino [18] es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y relativamente fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Otro de los factores decisivos fue que Arduino es una plataforma de código abierto. Es por eso que existe una gran comunidad de artistas, diseñadores y aficionados creando proyectos constantemente con este microcontrolador. Hecho que facilita mucho el

aprendizaje para alguien que busca profundizar sus conocimientos en el mundo de la electrónica y de la programación Arduino.

A continuación se explicará un poco más profundamente la estructura de la placa elegida para el prototipo, el Arduino UNO.

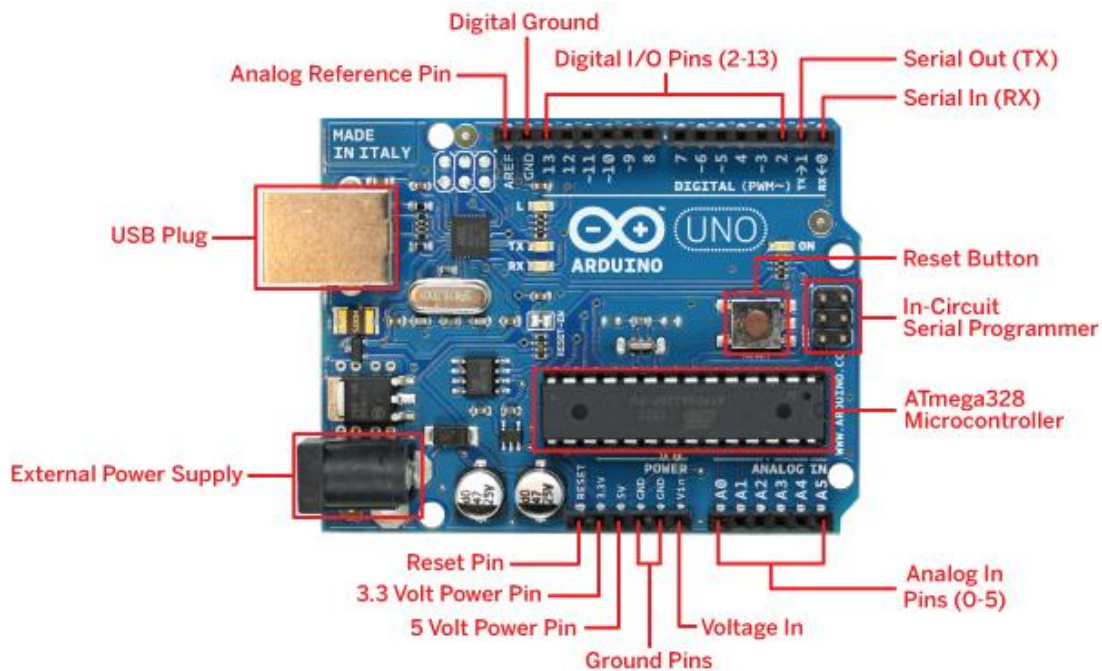


Fig. 7.3.2 – Placa Arduino UNO. Fuente: CortoCircuito

Su tamaño es de 74x53 mm. La programamos mediante una conexión USB que también se usará para alimentarla (5 V). Existe la posibilidad de usar la alimentación externa, que ha de ser de 9 V. Posee 14 pines de E/S digital (6 de las cuales pueden ser usadas como PWM) y 6 pines analógicos. Además, da la oportunidad de alimentar los circuitos con dos voltajes distintos, 5 V o bien 3,3 V.

A continuación se explicará cada parte con más detalle. La más importante es el microprocesador ATmega328, que posee una memoria flash de 32 KB (512 bytes son usados por el bootloader), RAM de 2 KB y 1 KB de memoria EEPROM. El voltaje de operación, como ya se ha dicho, es de 5 V y la frecuencia de trabajo del reloj es de 16 MHz.

Dispone de un botón reset (botón rojo) que suministra un valor LOW que reinicia el microcontrolador. A su lado, se encuentra el conector ICSP (del inglés, *In Circuit Serial*

Programming), que es el sistema utilizado en los dispositivos PIC para programarlos sin ser necesario la retirada del chip del circuito del que formase parte.

Respecto a los pines:

Los pines 3, 5, 6, 9, 10 y 11 son pines provistos de 8 bits de salida PWM (modulación por ancho de pulsos). Estos pines nos permiten obtener información del exterior y que la placa actúe en función de dicha información (sensores, motores, servos,...).

Los pines 0 (Rx) y 1 (Tx) son los encargados de enviar y recibir datos serie TTL.

La función de los pines 2 y 3 es la de manejar interrupciones (Arduino UNO sólo es capaz de manejar dos interrupciones por tanto).

Encontramos que los pines 10, 11, 12 y 13 sirven de apoyo a la comunicación SPI con la biblioteca SPI. El bus SPI (del inglés, *Serial Peripheral Interface*) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. Es un estándar para el control de cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits serie regulado por un reloj.

Hay 3 pines de tierra marcados como GND (0 V). La alimentación al circuito puede ser de 5 V o 3,3 V en su respectivo pin. Podemos aplicar un voltaje de entrada a la placa mediante el pin Vin cuando ésta sea alimentada por una fuente externa y conocer el valor exacto del voltaje aplicado a la placa.

Respecto a entradas analógicas, Arduino UNO dispone de 6 distribuidas en los pines A0, A1, A2, A3, A4 y A5. Cada una de ellas proporciona una resolución de 10 bits (1024 valores). Por defecto se mide en estos pines de la tierra a 5 V, aunque podemos cambiar la cota superior de este rango mediante el pin AREF, que se encarga de la tensión de referencia para las entradas analógicas.

El puerto USB nos permite una comunicación serie con el ordenador mediante el estándar de los controladores USB COM, sin necesidad de controlador externo. La placa nos avisa con un parpadeo de los leds Rx y Tx que la comunicación se está llevando a cabo.

El conector plug hembra de 2.1 mm lo podemos usar para alimentar a la placa externamente, evitando así el uso del USB (si el sketch ya está cargado en la placa, no necesitamos el ordenador para que la placa funcione, basta alimentarla).

En la Tabla 7.3.2 se puede ver un resumen de las características principales del Arduino UNO.

Microcontrolador	ATmega328
Tensión operativa	5 V
Tensión de entrada (recomendada)	7-12 V
Tensión de entrada (límite)	6-20 V
Pines E/S digitales	14 (de los cuales 6 pueden generar PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente por pines E/S	40 mA
Corriente para el pin de 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB utilizados para el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad del reloj	16 MHz

Tabla 7.3.2 – Características principales del Arduino UNO

Módulo Bluetooth

La función del módulo Bluetooth será realizar la comunicación con el *Smartphone*. Se utilizará el módulo Bluetooth HC-05 ya que se trata de un dispositivo relativamente económico (7,3 €) y que tiene un formato que permite insertarlo fácilmente en un protoboard. Además, va montado en una placa que adapta los niveles de voltaje al Arduino, con lo que se puede conectar directamente a éste. (Fig. 7.3.3)

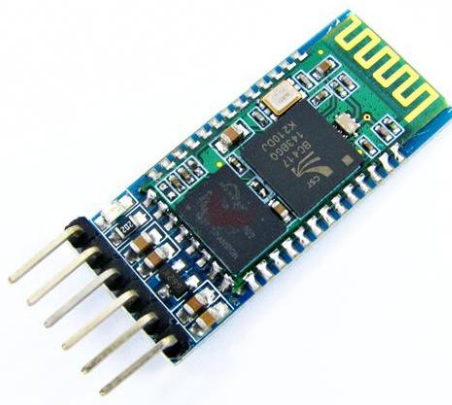


Fig. 7.3.3 – Módulo Bluetooth HC-05. Fuente: BotScience

Este modelo HC-05, puede funcionar tanto en modo máster como esclavo, lo que implica que además de recibir conexiones desde un PC o un *Smartphone*, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos Bluetooth.

El HC-05 tiene dos modos de funcionamiento: el modo configuración y el modo comunicación. El modo configuración debe activarse mediante un estado alto en el pin “Key” (pin 34). Una vez activado podemos enviar comandos AT para cambiar o ver los valores de configuración del módulo, es decir, el nombre del dispositivo, la contraseña de emparejamiento o el modo maestro/esclavo. En el modo de comunicación éste funciona de forma transparente, es decir, toda la información que se envía al HC-05 se transmite por Bluetooth y toda la información que se recibe la envía al Arduino.

El módulo tiene los pines de conexiones TXD, RXD, VCC, GND, KEY y STATE, que más adelante veremos para qué sirven y cómo van conectados.

Balanza

Para simular el sistema de pesado de productos de la cesta del carrito se ha realizado la simulación con una báscula de baño que se ha modificado para obtener más resolución.

Primero de todo se intentó utilizar una báscula que el director del trabajo tenía estropeada en su casa, ya que únicamente nos interesaban las células de carga y el problema tal vez era electrónico. Pero tras desmontarla, se comprobó que había dos células que no funcionaban.

Así que se compró una báscula de baño de baja calidad, para hacernos una idea costó menos de 10 €. La capacidad de la báscula iba de los 5 hasta los 150 kg, con una precisión de 100 g. Como se intuir a partir de la Fig. 7.3.4 tiene cuatro células de carga, una en cada esquina.

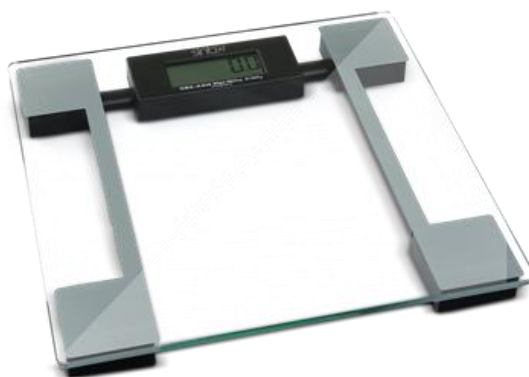


Fig. 7.3.4 – Báscula de baño Sinbo SBS-4414. Fuente: Sinbo

Finalmente, se utilizaron las células de carga de la báscula comprada y se utilizó la plataforma de cristal de la báscula facilitada por el director del proyecto.

Circuito de adecuación de la señal de las células de carga

Como se ha explicado en el apartado 0 “Descripción de los componentes” del sistema final, la salida de las células de carga normalmente es muy pequeña, por lo que generalmente necesita un circuito de adecuación de la señal. Éste, normalmente, incluye un amplificador y un filtro, para así incrementar el nivel de resolución de la medida y la relación señal-ruido. Además, la amplificación permitirá tomar las medidas de la señal analógica a través de los pines analógicos del Arduino y realizar conversión analógico-digital con el mismo Arduino. En el apartado de implementación ya se explicará con más detalle el circuito implementado.

Implementación

En este apartado se explicará cómo se ha llevado a cabo la implementación de los elementos de hardware explicados en el apartado anterior, así como su interconexión. El primer paso ha sido dotar al Arduino UNO de Bluetooth, mediante el acoplamiento del módulo HC-05. Por otro lado, se ha implementado

Conexión Arduino UNO - Módulo Bluetooth

Se compró el módulo Bluetooth HC-05 montado ya en una placa de adaptación de voltajes de manera que se puede conectar directamente al Arduino. En la placa vienen serigrafiados los pines de conexiones TXD, RXD, VCC, GND, KEY y STATE.

Se ha comenzado conectando el pin GND del HC-05 al pin GND del Arduino, y el pin de alimentación VCC con el pin de 5V del Arduino. De esta manera podemos encender y apagar el módulo desde el programa.

Para descargar el código de programación al microcontrolador lo haremos conectando directamente un cable USB, entre el PC y el Arduino, que crea una comunicación en serie. Este hecho ha condicionado las conexiones entre el módulo Bluetooth y el Arduino, y por eso no se han utilizado los puertos serie RX y TX del microcontrolador para intercambiar datos con el HC-05. Si lo hiciéramos así, en caso de que en el momento de descargar el

código del PC al Arduino, el Bluetooth también le estuviera enviando datos en serie, no se descargaría el código correctamente. Por eso se ha utilizado una librería que permite utilizar cualquier pin del Arduino como puerto serie, de modo que se han habilitado los pines 10 y 11.

Los pines TXD i RXD del módulo se han conectado a los pines 10 y 11 del Arduino. De este modo se dejaran libres los puertos series de los que dispone Arduino (pines TX y RX) para la depuración del programa.

Sólo queda conectar el pin marcado como KEY al pin 4 del Arduino, que debe estar en estado de tensión alto cuando se enciende o resetea el módulo y además permite cambiar el modo de funcionamiento del módulo.

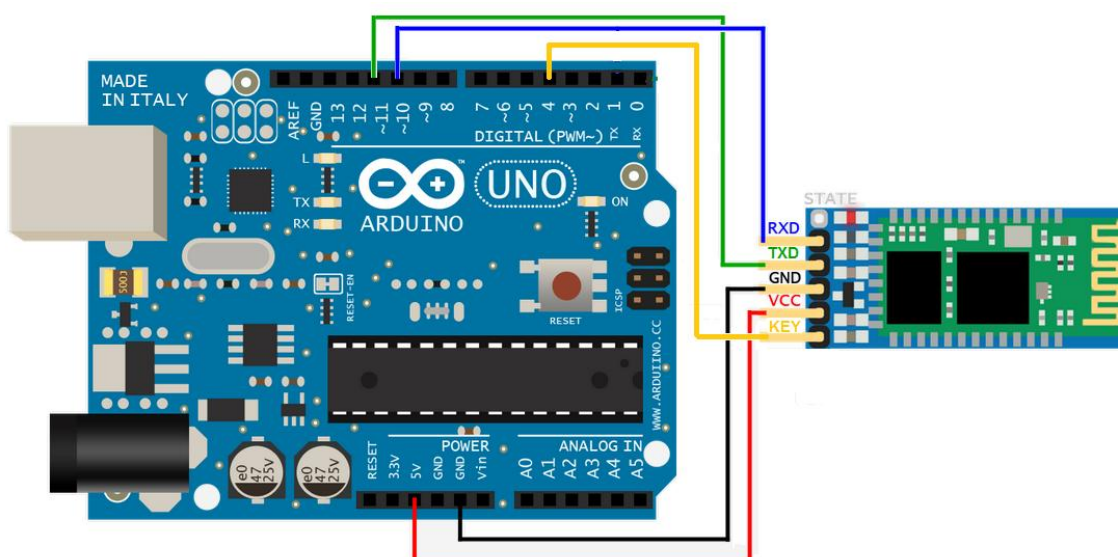


Fig. 7.3.5– Esquema de conexiones entre el Arduino y el módulo Bluetooth HC-05

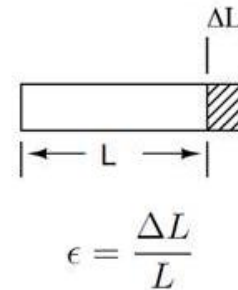
Balanza

Se empezó por eliminar toda la electrónica digital de la báscula que se había adquirido y dejar sólo la parte analógica: cuatro sensores de peso (células de carga) con tres cables de salida cada una. Se esperaban cuatro cables en cada célula de carga, es decir, que la célula tuviera la típica configuración tipo puente de Wheatstone (Fig. 7.3.9), pero tras un poco de búsqueda se descubrió que eran células de carga de “medio puente” (Fig. 7.3.11), o sea,

que sólo tenían dos de las galgas del puente. Para que se entienda todo mejor, se va a explicar brevemente cómo funcionan las células de carga.

Una celda de carga es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Utilizan una matriz de galgas para medir la deformación de un componente de una estructura y convertirla en una señal eléctrica.

Las galgas extensiométricas miden la deformación, o la tensión, para determinar la fuerza o carga aplicada. La extensión se define como el cambio de longitud (ΔL), dividido por la longitud L , y varía de forma directamente proporcional a la carga aplicada (Fig. 7.3.6).



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Fig. 7.3.6 – Definición de tensión

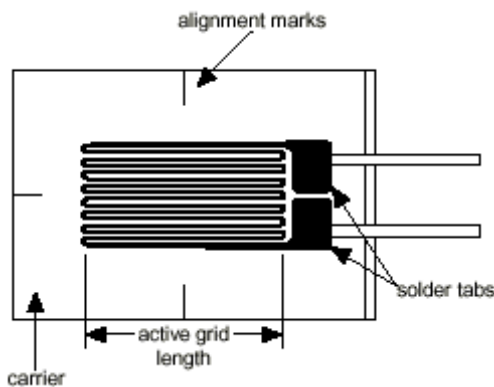


Fig. 7.3.7 - Galga extensiométrica

La galga extensiométrica metálica consiste de un cable muy fino, más comúnmente, una hoja metálica organizada en un patrón de rejilla. De esta manera se maximiza la cantidad de cable metálico, o de hoja, sujeto a tensión en la dirección paralela (Fig. 7.3.7). La grilla se une a un delgado respaldo, denominado portador, el cual se sujeta directamente a la estructura metálica de la célula en sí. Por tanto, la tensión experimentada por el componente se transfiere directamente a la galga extensiométrica, la cual responde mediante

un cambio lineal en la resistencia eléctrica. Las galgas extensiométricas están disponibles comercialmente con valores nominales de resistencia desde 30 hasta 3000 Ω , siendo 120, 350 y 1000 Ω los valores más frecuentes.

En la práctica, las mediciones de tensión rara vez involucran cantidades mayores a unas pocos milivoltios. Por tanto, la medición de tensión requiere de exactitud en la detección de cambios muy pequeños en resistencia. Para medir tales cambios en la resistencia, las galgas extensiométricas casi siempre se emplean en configuraciones de puente con una fuente de excitación de voltaje. El puente general de Wheatstone, que se ilustra en la Fig.

7.3.8, consiste de cuatro resistencias con un voltaje de excitación (V_{EX}) que es aplicado en dos bornes del puente.

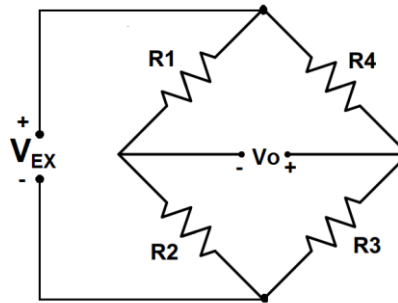


Fig. 7.3.8 – Configuración del puente de Wheatstone

El voltaje de salida del puente, V_0 , es igual a:

$$V_0 = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot V_{EX} \quad (\text{Ec. 7.3.1})$$

De esta ecuación, se aprecia que cuando $R_1/R_2 = R_4/R_3$, el voltaje de salida, V_0 , es cero. Bajo estas condiciones, se dice que el puente está balanceado. Para mejorar la sensibilidad del circuito, lo que se hace es que las cuatro resistencias del puente sean galgas extensiométricas activas, quedando así la configuración de la Fig. 7.3.9. Cualquier cambio en la resistencia de cualquiera de los brazos del puente resultará en un voltaje de salida diferente de cero.

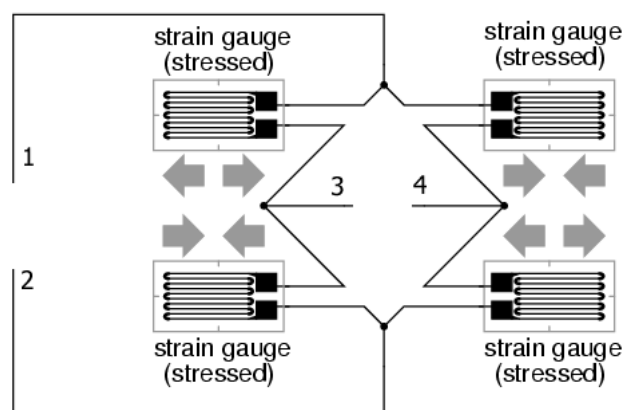


Fig. 7.3.9 - Estructura de una célula de carga de puente completo

Cuando se aplica un voltaje de excitación y el puente está balanceado, el voltaje en los terminales S^+ y S^- es igual a $\frac{1}{2} V_{exc}$. Pero las células están diseñadas de manera que cuando se actúa sobre ellas, las resistencias opuestas cambian en el puente $\pm \Delta R$. Entonces el voltaje en S^+ y S^- varía respecto el valor anterior, y el voltaje diferencial en la salida $V_s = (S^+ - S^-)$ deja de ser cero. Esta diferencia de potencial es la que nos está indicando la cantidad de fuerza o presión que actúa sobre el sensor.

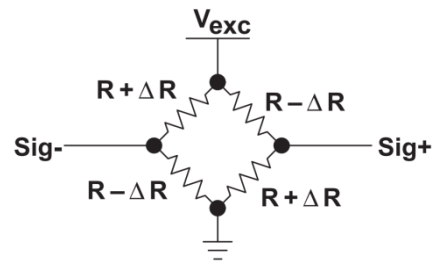


Fig. 7.3.10 – Puente Wheatstone al aplicar una fuerza

En el caso de las células de la báscula de baño que se había desmontado, las células de carga eran de medio puente, es decir, únicamente tenían dos galgas extensiométricas formado lo que sería un lado del puente completo.

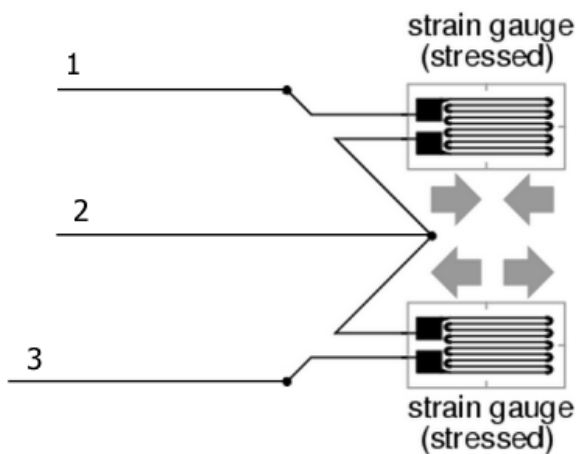


Fig. 7.3.11 - Célula de carga de medio puente

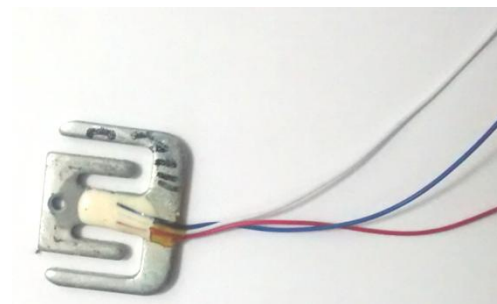


Fig. 7.3.12 – Células de carga

Al no tener la ficha técnica de las galgas, para identificar qué cable era la salida y cuáles eran los de alimentación, se midió la resistencia entre cada pareja de cables obteniendo los siguientes resultados:

$$R_{\text{azul-rojo}} = 2000 \, \Omega$$

$$R_{\text{azul-blanco}} = 1000 \, \Omega$$

$$R_{\text{rojo-blanco}} = 1000 \, \Omega$$

Por tanto, se trataba sin duda de un “half bridge”, esquematizado en la Fig. 7.3.11

El siguiente problema, fue cómo conectar los cuatro sensores para que funcionaran adecuadamente en conjunto. Al final se decidió crear dos puentes de Wheatstone completos, conectando en parejas las cuatro células, y posteriormente, conectando los dos puentes completos en paralelo para obtener en la salida la lectura conjunta de los dos [19]. El conexionado corresponde exactamente al esquema de la Fig. 7.3.13. Como se puede observar las líneas de salida y de excitación de los dos puentes están conectadas en paralelo. Se han identificado las células de carga como A, B, C y D y se han marcado los dos terminales de excitación como V_{ex}^+ y V_{ex}^- , así como las salidas V_s^+ y V_s^- .

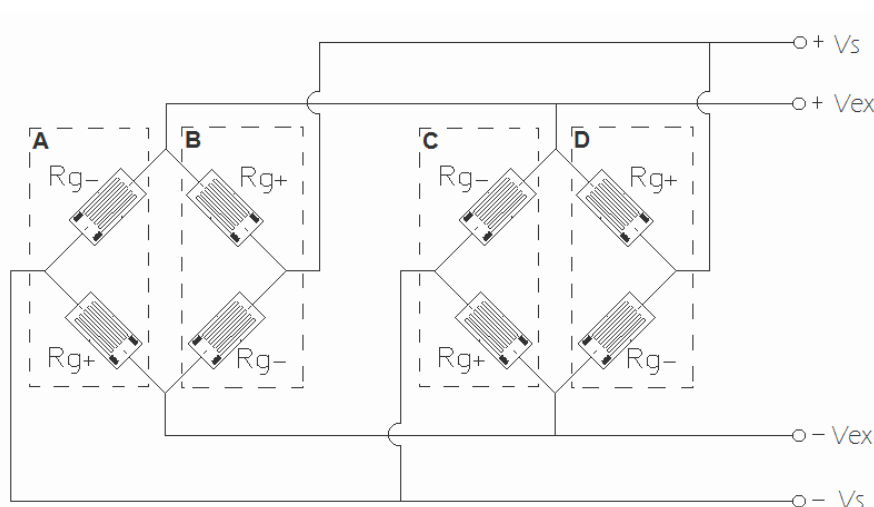


Fig. 7.3.13- Conexión de las células de carga

Este esquema llevado a la balanza en realidad se corresponde con el de la Fig. 7.3.14.

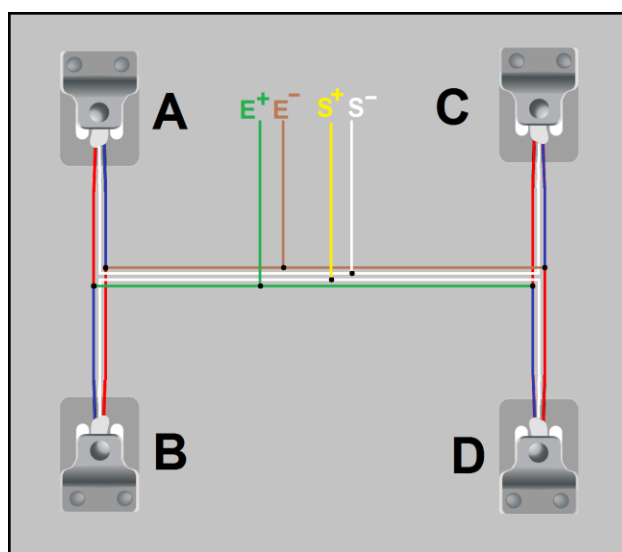


Fig. 7.3.14 - Esquema del conexionado sobre la balanza

Con un amplificador del laboratorio se observaron las lecturas de las células de carga y se comprobó que las cuatro células estaban bien conectadas y que efectivamente las cuatro contribuían a la lectura final de la báscula. También nos sirvió para hacernos una idea del orden del voltaje de salida de las células de carga y de la amplificación que tendríamos que hacer para poder hacer las lecturas con el Arduino.

En siguiente paso fue diseñar el circuito de acondicionamiento de la señal. En un primer intento, se construyó un amplificador diferencial con un simple amplificador operacional, ya que era el único circuito electrónico con esta utilidad que se conocía de la asignatura de Electrónica.

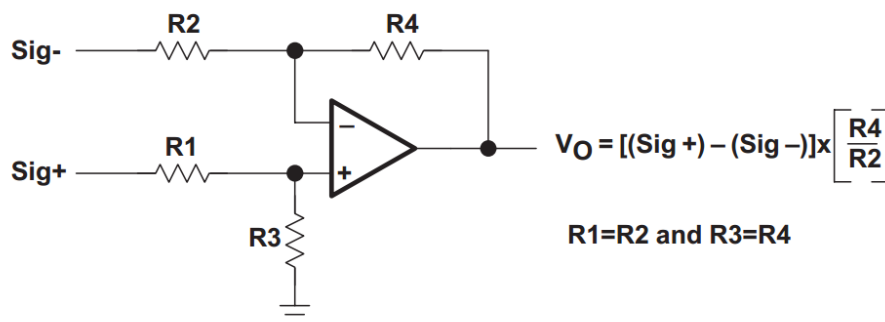


Fig. 7.3.15 – Amplificador diferencial simple

El problema de este circuito es que la impedancia de entrada es relativamente pequeña y para calcular la ganancia se debe tener en cuenta la impedancia de la fuente

Investigando un poco se encontró que existían los amplificadores de instrumentación, que eran dispositivos creados a partir de amplificadores operacionales. Los amplificadores de instrumentación son amplificadores diferenciales que han sido diseñados específicamente para obtener unas buenas características en aplicaciones de medición, como pueden ser un voltaje de offset muy bajo, desviación baja ("low drift"), poco ruido, ganancia en lazo abierto

muy alta, una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común (CMRR)¹. Además, se pueden encontrar encapsulados, cosa que simplificaba mucho el circuito. Al final, lo que hace es la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor.

En la siguiente figura se muestra la estructura de un amplificador de instrumentación.

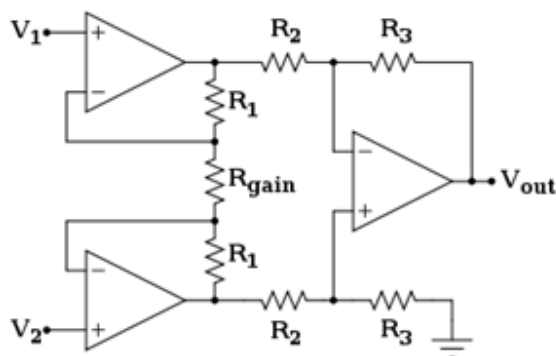


Fig. 7.3.16 – Esquemático de un amplificador de instrumentación

En caso de que las resistencias no sean iguales, la ganancia total del amplificador de instrumentación será:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g} \right) \frac{R_3}{R_2} \quad (\text{Ec. 7.3.2})$$

¹Es una especificación de rendimiento que básicamente es una medida de lo bien que un amplificador operacional puede ignorar los voltajes que son comunes a ambas de sus entradas de corriente directa, y por lo tanto describe cuán limpiamente este amplifica las señales que aparecen como diferencias de tensión en sus entradas. El CMRR, entonces, es la ganancia diferencial dividida por la ganancia en modo común. La ganancia diferencial es el voltaje en la salida de los amplificadores operacionales, dividido por la diferencia en el voltaje medido en las dos entradas. La ganancia en modo común se mide haciendo referencia a ambas entradas en una sola tensión, y dividiendo la tensión de salida medida por la tensión de entrada.

En circuitos integrados suele encapsularse todo excepto la resistencia R_g para poder controlar la ganancia. También puede sustituirse la conexión a tierra por otra a una tensión dada.

Al final por simplicidad y funcionalidad se decidió utilizar un amplificador de instrumentación integrado, ya que nos ofrece una gran precisión y estabilidad del circuito a corto y a largo plazo. Entre los diversos modelos se escogió el INA125p, que es un amplificador de instrumentación bastante utilizado para la amplificación de puentes de Wheatstone. En la Tabla 7.3.3 se pueden ver sus especificaciones principales.

Low quiescent current	460 μ A
Voltajes de referencia precisos	1.24V, 2.5V, 5V y 10V
Bajo voltaje de offset	250 μ V max
Baja desviación de offset	2 μ V/ $^{\circ}$ C max
Low input bias current	20nA max
Alto CMR	100 dB min
Bajo ruido	38nV/Hz ^{1/2} a f=1kHz
Protección entrada de	\pm 40V
Amplio rango de alimentación	Única: 2.7 V a 36V Doble: \pm 1.35V a \pm 18V

Tabla 7.3.3 – Especificaciones INA125p

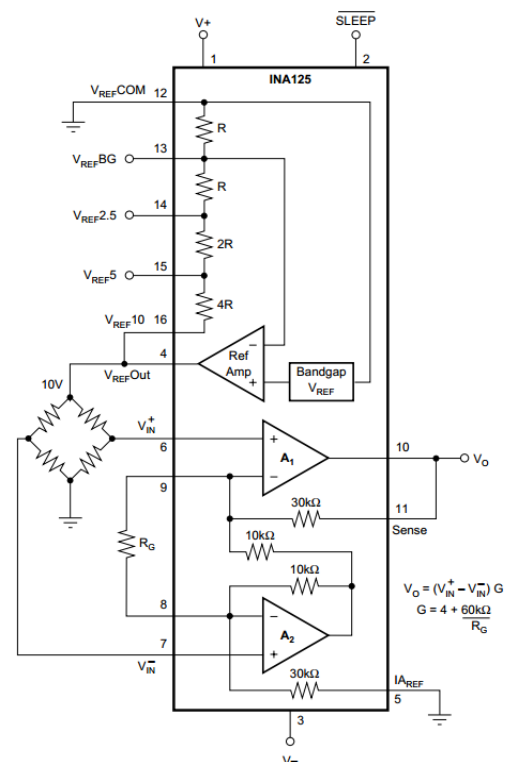


Fig. 7.3.17 – Esquemático del INA125p

Fuente: Texas Instruments

A continuación se explicará cómo se realizó la conexión de las células de carga con el INA125p.

El voltaje de salida de las células es directamente proporcional al voltaje de excitación. Por lo tanto, el circuito debe o bien mantener la tensión de alimentación constante a la misma precisión que la medida deseada, o compensar los cambios en la tensión de alimentación. La forma más sencilla para compensar los cambios en el voltaje de excitación es derivar la tensión de referencia del amplificador de instrumentación desde la excitación del puente. Otra opción que se barajó era utilizar los voltajes de referencia que ofrece el INA125p, pero tras leer la hoja de especificaciones se descubrió que el voltaje de alimentación del chip tenía que estar 1,25V por sobre de la tensión de referencia deseada. Esto es debido a que el amplificador utiliza 1,25V para generar los voltajes de referencia. Como el voltaje de alimentación de nuestro circuito es de 5V, sólo podríamos haber usado los voltajes de referencia de 2,5V o 1,24V para excitar las células. Se consideró que este voltaje era muy bajo y que la amplificación posterior debería ser demasiado grande. Aún así, en la hoja de especificaciones se recomienda conectar el pin V_{REFOUT} a uno de los pines de voltajes de referencia para evitar saturar el amplificador de referencia (Ref Amp).

Por otro lado, se han conectado a tierra conjuntamente $I_{A_{REF}}$, que es la referencia respecto a la que se da la salida del amplificador de instrumentación, V_{REFCOM} , ídem que el anterior pero para los pines de voltajes de referencia, y V_- . A ellas también se ha conectado el terminal de excitación negativo de las células.

Por último, el pin SLEEP, ha sido conectado a V_+ ya que no se utilizará en ningún caso. Los pines 6 y 7 son las entradas del amplificador de instrumentación a las cuales se conectarán los bornes de salida de las células de carga. Finalmente, se han conectado los pines 10 y 11, correspondientes a la salida y al pin SENSE respectivamente. La salida se conectará directamente a la entrada analógica A0 del Arduino.

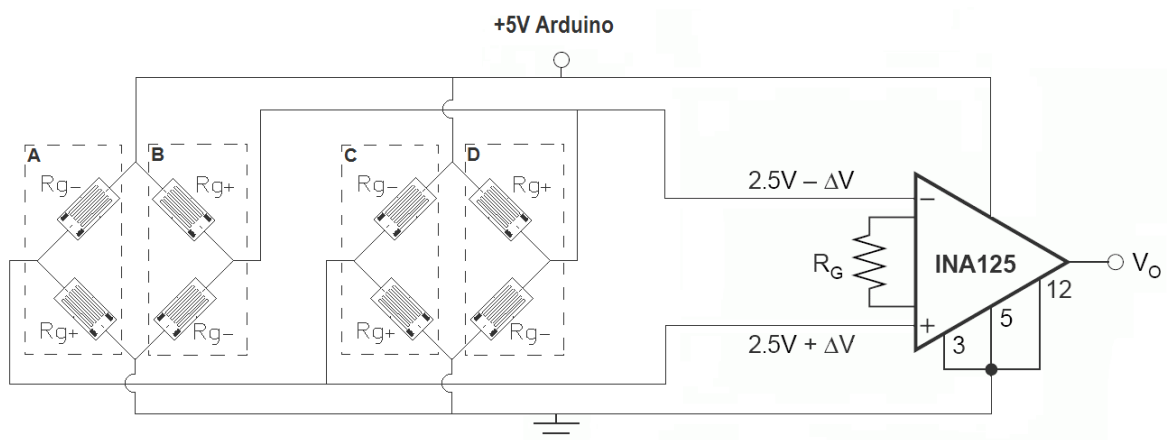


Fig. 7.3.18 – Conexión células de carga y amplificador de instrumentación

Ahora solo queda fijar la ganancia del INA125p, que se puede regular con la resistencia externa R_G contactada entre los pines 8 y 9 según la expresión:

$$G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G} \quad (\text{Ec. 7.3.3})$$

De esta manera, podemos hacer que el máximo peso admisible en la balanza, se corresponda con el voltaje máximo permitido en las entradas analógicas de Arduino. Finalmente, para no tener que amplificar excesivamente la señal, se ha bajado el voltaje de referencia de las entradas de Arduino de 5V a 1,1V mediante el comando AREF. Así, se ha fijado la resistencia R_G a un valor de 56Ω , que a través de la $(G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_G})$

(Ec. 7.3.3) corresponde a una ganancia de 111,14. De esta manera la balanza del prototipo tiene un rango de peso de 0 a aproximadamente 20 kg.

Ensamblaje

Inicialmente, para hacer las pruebas y diseñar los circuitos del módulo Bluetooth, de las células de carga y el circuito de adecuación de la señal se hizo en una protoboard. Pero una vez hecho el diseño final, se decidió comprar una placa de topos y soldarlo todo en ella. De esta manera se consiguió disminuir el ruido provocado por las malas conexiones y el diseño quedo mucho más compacto y fiable.



Fig. 7.3.19 – Estado final del sistema de pesado

7.4. Software

Para poder llevar a cabo las operaciones necesarias para conseguir un correcto funcionamiento del sistema, no es suficiente con los elementos de hardware, sino que también es necesaria la programación de un software. Éste se encarga de manejar y controlar los diversos elementos físicos para que funcionen conforme a las especificaciones de diseño.

El software programado en este proyecto se ejecuta sobre tres plataformas. En el apartado lugar se intentará explicar las razones por las cuales se han elegido cada una de ellas y, posteriormente, se explicará el código que se ha generado

Diseño

Android - Applinventor

Para realizar la aplicación móvil para el escaneo de los productos se decidió utilizar el sistema operativo Android, entre otras opciones disponibles como iOS, Symbian o Windows Phone por varias razones.

En primer lugar, porque a pesar de ser un sistema operativo relativamente nuevo ha logrado ganarse un puesto importante en el mercado de los teléfonos móviles. Actualmente es una de las plataformas más utilizadas en muchos países y es la que está sufriendo una mayor expansión en los últimos años.



Fig. 7.4.1 – Icono de Android

En segundo lugar, existen muchas herramientas de desarrollo muy amplias para la programación en Android y la curva de aprendizaje no es muy elevada. Aparte, cuenta con una comunidad de desarrolladores que continuamente crean aplicaciones y comparten sus conocimientos en foros, hecho que facilita enormemente el aprendizaje.

Por último, el hecho de que se dispusiera de un teléfono Android hacía más práctico el desarrollo, ya que no se tenía que hacer uso de ningún simulador sino que se iba probando directamente en el móvil.

El entorno de trabajo oficial de Android es desarrollado por Google y cuenta con una página web en la que se explica, de manera detalla y con algunos ejemplos, el uso del API (del inglés *Application Programming Interface*) mediante el lenguaje de programación “Java”. Lo recomendable para el desarrollo de aplicaciones utilizando este API es la instalación de una plataforma integral de desarrollo (IDE) como Eclipse o NetBeans, que deben ser configurados para poder funcionar con el entorno de Android.

Sin embargo, a pesar de que esta es la opción más estable, completa y recomendable, existen en la red múltiples opciones que permiten a los desarrolladores programar aplicaciones usando otros métodos y lenguajes de programación distintos a Java. Éstas alternativas, conocidas como frameworks, buscan facilitar la programación de aplicaciones y ofrecer una opción alternativa al desarrollo utilizando librerías nativas.

Una de ellas es AppInventor [20], que utiliza el API nativo de Android, aunque lo utiliza mediante la unión de bloques visuales. Es un entorno de desarrollo visual web gratuito, que permite construir aplicaciones que no requieren un uso extensivo de las librerías de Android, ya que se hace mediante el uso de bloques al estilo de piezas de rompecabezas. De esta manera, no hay necesidad de escribir líneas de código de programación. Fue anunciado por Google en 2010 y está basado en la librería Open Blocks de Java, distribuida por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) bajo su licencia libre (MIT License).



Fig. 7.4.2 . Icono de Android AppInventor

De forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, el usuario puede ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. Las aplicaciones fruto de AppInventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

Durante el proceso de desarrollo, las aplicaciones construidas con AppInventor no son almacenadas en el disco duro del computador sino que se encuentran en la red, por lo tanto se puede acceder a ellas desde cualquier equipo con acceso a internet y que tenga

instalado el SDK de Google. Una vez finalizado el proceso de desarrollo, el framework permite compilar la aplicación y crear un archivo ejecutable “.apk” que podrá ser instalado en un dispositivo con Android.

La programación se realiza a través del uso de dos interfaces, por un lado el AppInventor Designer (Fig. 7.4.3) y por otro, el AppInventor Blocks Editor (Fig. 7.4.4).

Se empieza a diseñar la aplicación en la primera. En ella se incluyen todos los elementos y componentes que serán usados en la aplicación, tanto los visibles como los no visibles. Los primeros son aquellos que permiten crear la interfaz gráfica de la aplicación, es decir, los botones, imágenes o campos, por ejemplo. Los no visibles son los que permiten acceder a herramientas del teléfono o controlar eventos (Bluetooth, sensores, escáner de códigos de barras, cámara). Consta de cuatro partes básicas, que se han diferenciado en colores en la Fig. 7.4.3: Palette, que contiene los elementos y herramientas soportadas por el framework; Viewer, que es la ventana que simula la pantalla del móvil; Components, que es una lista de los elementos introducidos en el Viewer; y por último, Properties, que te permite modificar las propiedades del elemento seleccionado.

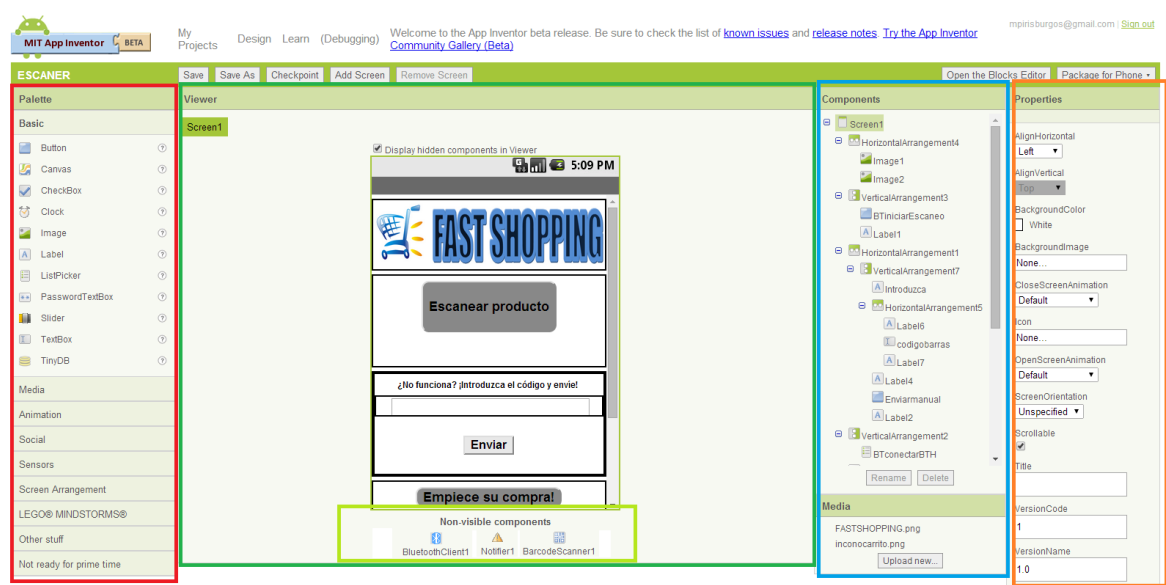


Fig. 7.4.3 - Interfaz “AppInventor Designer” (marcadas en colores las diferentes secciones)

El “Blocks Editor” está constituido por bloques enlazados unos con otros y es lo que representaría el código de la aplicación. Estos elementos trabajan de manera similar a las

piezas de un rompecabezas, donde dos bloques solo pueden ser unidos si la salida de uno encaja con la entrada del otro. Los bloques representan los componentes que fueron definidos en el “App Inventor Designer” y las funciones que se pueden realizar con ellas. Además de los componentes, existen múltiples piezas que permiten desarrollar la lógica de la aplicación, como comparadores o condicionantes.

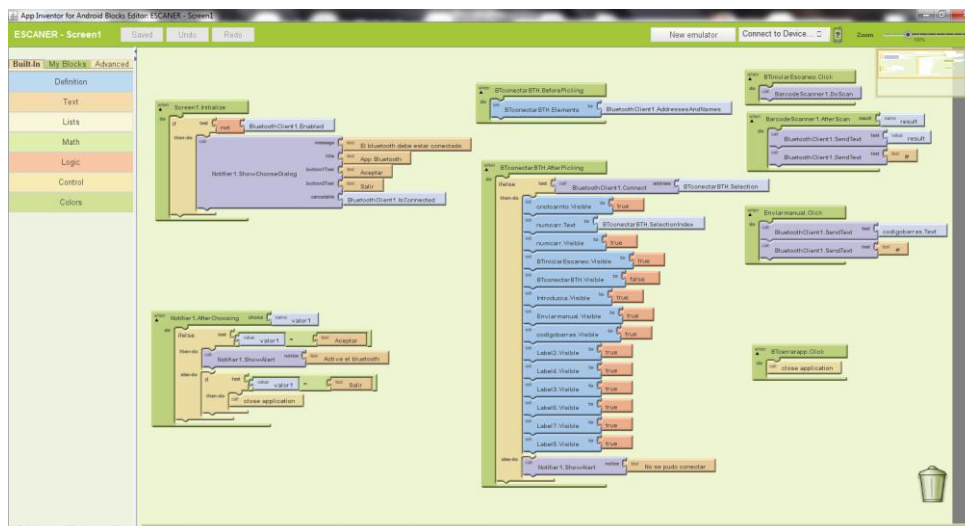


Fig. 7.4.4 - Interfaz AppInventor Blocks Editor

Arduino

En el apartado 7.3 de hardware ya se ha explicado qué es Arduino y el porqué de su utilización. Pero no se ha visto como se implementa realmente un programa. El modo de trabajo suele ser el siguiente: se conecta el Arduino al PC mediante un cable de serie, se abre la IDE (entorno de desarrollo), se carga el programa que se desee y se descarga al micro. Si se dispone de otra fuente de alimentación alternativa al USB, ya se puede desconectar el cable y el Arduino puede realizar las funciones especificadas en el programa cargado.

El IDE de Arduino (Fig. 7.4.5) es bastante sencillo e intuitivo y no es objetivo de este documento explicar su funcionamiento al completo pero si daremos un par de pinceladas.

Hay un icono de especial interés, en la parte superior derecha llamado “Serial Monitor” que abre una ventana nueva. Todos los datos que llegan por comunicación serie desde el

micro, se irán mostrando en esta ventana. Es decir, que si se conecta un sensor al micro y éste envía sus lecturas a través del puerto serie al PC, se podrán ver estos datos en la ventana del serial monitor. En este caso en concreto, se recibirán los datos recibidos vía Bluetooth desde la aplicación móvil, así como las lecturas de la balanza.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Además el lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++. El código fuente de los programas se divide en tres grandes bloques distintos:

- *Declaración de variables:* se lleva a cabo la declaración de todas las variables que se van a utilizar a lo largo del programa y también se realiza la carga de las bibliotecas necesarias.
- *Bloque setup:* El código escrito en este bloque se ejecuta una sola vez, al iniciarse el programa por primera vez como el bloque anterior. En él se definen los pines físicos de la tarjeta como de entrada o salida, así como los parámetros de las conexiones (en nuestro caso la Bluetooth).
- *Bloque loop:* Este bloque como su propio nombre indica es un bucle de forma que cada vez que llegue al final, volverá ejecutar el bucle desde la primera instrucción de manera continua.

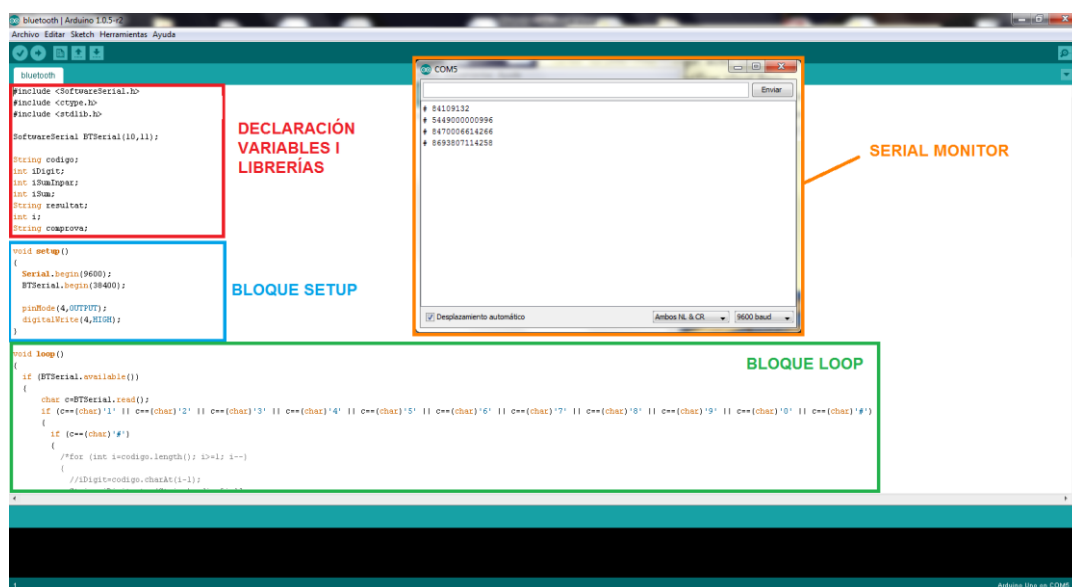


Fig. 7.4.5 - IDE Arduino y Serial Monitor

Visual Studio 2013

Para llevar a cabo el software del carro de la compra se ha empleado el programa Visual Studio Ultimate 2013 [21]. Antes de realizar el proyecto no se tenía conocimiento de este programa, y fue por recomendación del director del proyecto se utilizó.

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación tales como Visual Basic.NET, C#, C++, Java, Python entre otros. Visual Studio puede utilizarse para construir aplicaciones dirigidas a Windows (utilizando Windows Forms), Web (usando ASP.NET y Servicios Web) y dispositivos portátiles (utilizando .NET Compact Framework). En definitiva, se trata de una de las mejores y completas IDEs disponibles en Windows.

Además, nos permitía interactuar con la información de una base de datos creada en Microsoft Office Access, que simula la base de datos de un supermercado con la información de todos sus productos, juntamente con las lecturas de la balanza y los productos escaneados con la aplicación móvil. Todo esto era posible utilizando “Windows Forms” del programa Visual Studio.

Implementación

Lectura de la balanza

Debido a que el comportamiento de la balanza al ir colocando pesos en ella parecía que no era totalmente lineal, como se puede observar en la Fig. 7.4.6, se comprobó experimentalmente. Para hacerlo, se colocaron diversos pesos a intervalos de 500 g y se tomó nota de la lectura para cada uno. Se repitió esta labor 5 veces para obtener mejores resultados.

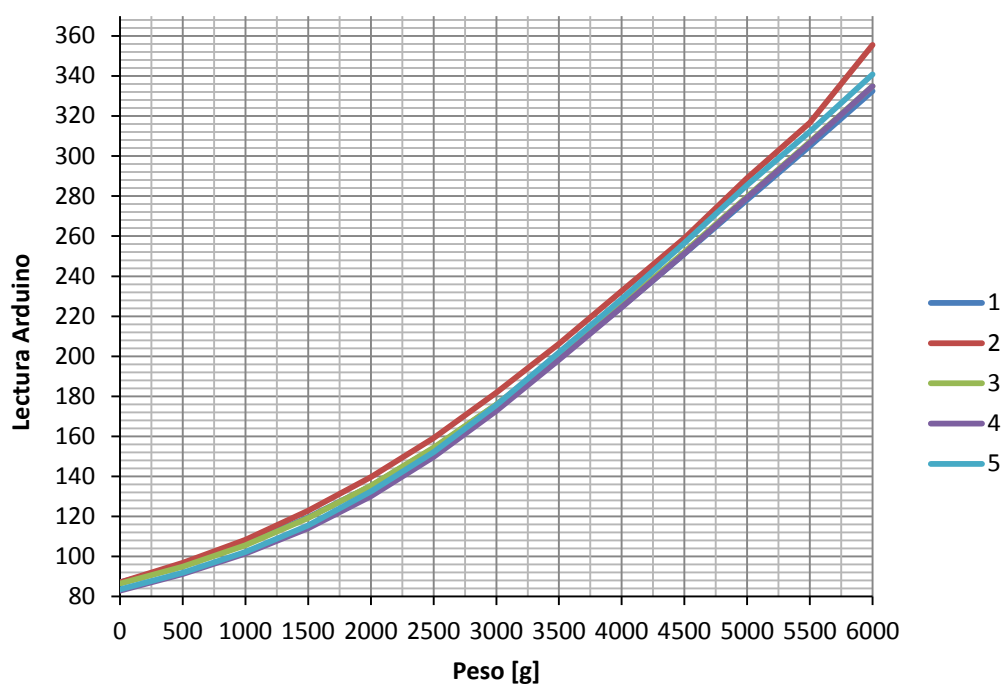


Fig. 7.4.6 - Comportamiento no lineal de la balanza

Una vez recogidos los datos se representaron en un gráfico las lecturas obtenidas con el Arduino en función del peso colocado en la balanza. Como podemos observar en la Fig. 7.4.6 existe una no linealidad marcada para valores inferiores a 4 kg. Otro problema que se observó, fue que cada vez que se montaba el sistema de nuevo, el offset cambiaba. Como se puede observar en la Fig. 7.4.7, las medidas de una lectura a otra están desfasadas aproximadamente el mismo valor para cada serie del gráfico.

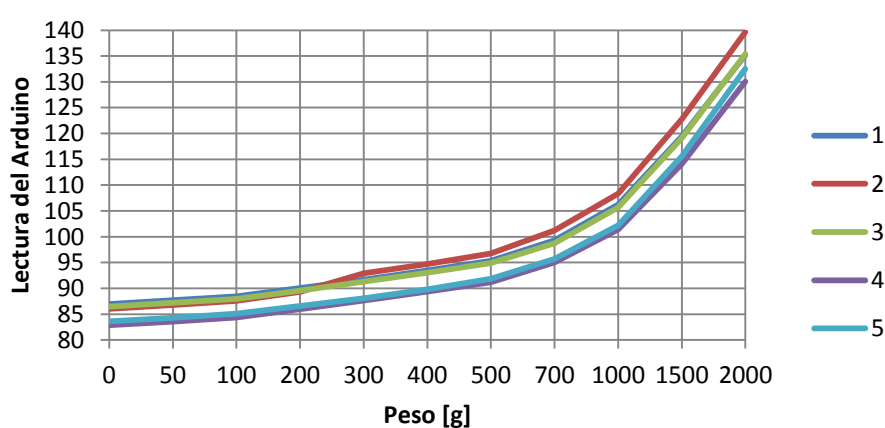


Fig. 7.4.7 - Gráfico de las lecturas para diferentes pesos

Entonces, se plantearon dos soluciones. Por un lado, intentar ajustar modelos matemáticos, uno para pesos menores a 1 kg, otro para pesos entre 1 y 6 kg y otro para pesos superiores, mediante modelos de regresión. La otra solución consistía en introducir en el código de Arduino unos valores de referencia para diferentes pesos, haciendo los intervalos relativamente pequeños. Entonces, cada vez que se realizara una medida, se comprobaría dentro de que intervalo se encuentra y se interpolaría entre los dos valores de referencia para obtener el peso. Se intentó implementar las dos soluciones, pero finalmente se eligió la segunda ya que llegamos a una mayor precisión.

El problema que se tenía, era que cada vez que se realizaba el montaje de todo el sistema, el offset cambiaba. Entonces, los valores de referencia introducidos en el código ya no eran válidos y la precisión en las medidas era muy baja.

Como se puede ver en la Fig. 7.4.7, en diferentes lecturas se obtenían curvas aproximadamente paralelas, es decir, las medidas eran las mismas pero desplazadas una cierta distancia (la diferencia entre el “offset” de referencia y el nuevo “offset”). Entonces se sacó como conclusión que el comportamiento de la balanza siempre era el mismo, pero se debía ajustar el “offset” respecto al de referencia. De manera que se decidió introducir una función de calibración de la balanza (Fig. 7.4.8), que se ejecutaría al principio del proceso de compra.

```
float calibrar(){  
    total=0;  
    for (i=0; i<NumMedZero; i++) {  
        lectura=analogRead(analogPin);  
        total=total+(float)lectura;  
        delay(1);  
    }  
    zero=total/(float)NumMedZero;  
    x=(float)analogval1A-zero;  
}
```

Con esta función, se realizan una serie de medidas estando la balanza sin peso y se calcula la media, que es el nuevo offset (variable *zero* del código). Entonces, se calcula la diferencia entre el offset de referencia (variable *analogval1A*), y el nuevo valor de offset acabado de calcular.

Con esta función calculamos el valor de la variable *x*, que se sumará a todas las lecturas antes de hacer la interpolación y obtener el peso. De ésta manera, adaptamos la lectura a los valores de referencia que teníamos introducidos en el código.

Fig. 7.4.8 – Función de calibración

```
float load14A = 200;
float analogval14A = 86.7;
float load14B = 300;
float analogval14B = 88.3;

float load15A = 300;
float analogval15A = 88.3;
float load15B = 400;
float analogval15B = 90.05;
```

Para tener una mejor precisión dividimos los datos en 11 grupos. Como se había observado que el comportamiento era lineal a partir de los cinco 5 kg, se crearon 10 intervalos para los pesos más pequeños y uno para los pesos mayores a 5 kg. Como se puede ver, para cada peso en gramos (*loadX*) está fijada la lectura del pin analógico de Arduino (*analogvalX*).

Fig. 7.4.9 – Valores de referencia para la interpolación

Una vez fijados los valores de referencia y la función de calibración, solamente queda explicar la función de pesado. Para obtener medidas más estables, al igual que en la función de calibración, se toman una serie de lecturas y se realiza la media. A la media se le suma la variable *x*, calculada en la función de

```
float pesar(long int NumMedidas){
    tot=0;
    peso=0;
    for (i=0; i<NumMedidas; i++) {
        val=analogRead(analogPin);
        tot=tot+(float)val;
        delay(1);
    }
    peso=(tot/(float)NumMedidas)+x;
    if (peso < analogval12B && peso > analogval12A ){
        float load = analogToLoad12(peso);
        Serial.println(load,1);
    }
}
```

la calibración y así se obtiene la lectura (variable *peso*). Entonces se comprueba

Fig. 7.4.10 – Código de la función pesar

dentro de que intervalo se encuentra la lectura mediante la comparación de ésta con los diferentes valores de referencia.

A continuación para calcular el peso en gramos, se utiliza la función la función *analogToLoad*, que a su vez utiliza la función *mapfloat*. Estas funciones simplemente sirven para realizar la interpolación cogiendo como referencia los pesos y sus correspondientes lecturas asignados como referencia.

```
float analogToLoad12(float analogval){
    float load = mapfloat(analogval, analogval12A, analogval12B, load12A, load12B);
    return load;
}

float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

Fig. 7.4.11 – Funciones para interpolar y calcular el peso en gramos de la lectura

Aplicación Android

Como se ha comentado la aplicación Android se ha realizado con el framework AppInventor. A continuación se explicará un poco el funcionamiento de la aplicación y cómo se ha creado sin entrar en detalles específicos de la programación, que ya se ha incluido en el Anexo C.

Como se ha explicado en el apartado del sistema final, la finalidad de la aplicación es escanear los productos y enviar el código al microcontrolador del carrito, para que así el producto aparezca en la pantalla.

Debido a que no se tenía ninguna intención comercial con la creación de la aplicación, ésta no se ha subido al Google Play, donde los usuarios de Android pueden descargarse las aplicaciones. Simplemente se ha creado el archivo ejecutable “.apk” y éste ha sido instalado en un dispositivo con Android.

La pantalla principal de la aplicación es la primera que aparece en la Fig. 7.4.13. En ella aparece el nombre que se le ha dado a la aplicación y que trata de reflejar la idea del sistema que se ha creado. Si el cliente decide iniciar la compra y no tiene el Bluetooth activado, salta una notificación recordándoselo y hasta que el usuario no lo activa, no puede proceder. A continuación, al cliente le salen una lista con los dispositivos Bluetooth activos, que en un caso real serían todos los carritos del supermercado. Entonces el cliente elegiría el carrito que hubiera cogido (estarían numerados y en la lista saldría el número).



Fig. 7.4.13 - Pantalla principal de la aplicación

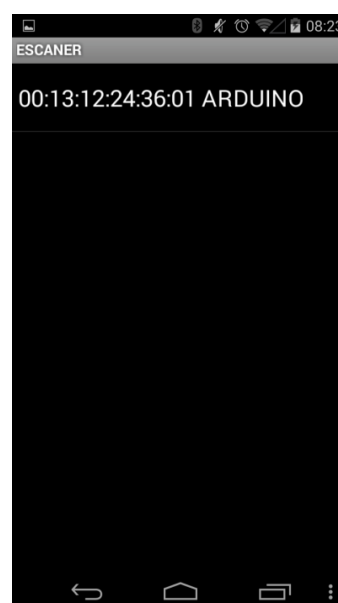


Fig. 7.4.12 – Dispositivos/ Carritos

Una vez seleccionado el carrito al que conectarse, si la conexión se realiza correctamente, aparece la pantalla de escaneo. En ella destaca el botón “Escanear producto”, que es el que tiene que pulsar el cliente si quiere leer un código de un producto. Si lo pulsa, aparece la pantalla de la aplicación Barcode Scanner. Ésta es una aplicación que sirve para escanear códigos de barras y que se abre al pulsar el botón de escaneo. En este caso se debería tener instalada también esta aplicación, que es gratuita y se puede descargar fácilmente desde Google Play en un minuto. Si finalmente se creara esta aplicación para una aplicación real, probablemente el lector de códigos de barras probablemente se incluiría en la misma aplicación.

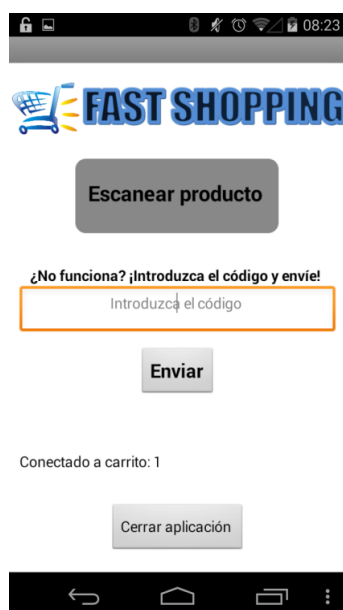


Fig. 7.4.16 – Pantalla de escaneo



Fig. 7.4.14 – Barcode Scanner



Fig. 7.4.15 – Escribir código

Una vez se lee el código de barras, la aplicación envía vía Bluetooth el código del producto directamente al Arduino, que deberá programarse para recibirlo.

Adicionalmente se ha introducido un campo para introducir el código manualmente en caso de que el escáner no funcionara. El usuario solo debe escribirlo y pulsar el botón enviar.

Comunicación Android – Arduino

La comunicación entre Android y Arduino, como ya se ha comentado, se realiza vía Bluetooth. El Arduino por sí mismo no tiene Bluetooth, pero como ya se ha explicado, se ha utilizado el módulo HC-05 para que así sea.

En la primera parte de declaración de variables y librerías, se ha utilizado la librería SoftwareSerial. Ésta nos permite establecer los pines 10 y 11 del Arduino como puerto serie y de esta manera realizar la comunicación serial con el módulo Bluetooth.

Cómo se ha comentado en el apartado de hardware, dónde se ha explicado cómo iba conectado el módulo Bluetooth, el pin Key debe estar en estado alto para encender y resetear el módulo. Por eso, en el bloque setup del código, se establece el pin4 del Arduino en estado alto. Además, también se establece la velocidad del puerto del módulo Bluetooth y se abre la comunicación serie con el PC y se establece su velocidad.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <ctype.h>
#include <stdlib.h>

SoftwareSerial BTSerial(10,11);

String codigo;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    BTSerial.begin(38400);

    pinMode(4,OUTPUT);
    digitalWrite(4,HIGH);
}
```

Fig. 7.4.17 – Comunicación Bluetooth

En el bloque loop, que se va repitiendo cíclicamente, se filtra que en el Serial Monitor solamente se escriba el código de barras, ya que el módulo HC-05 enviaba feedbacks del tipo “OK” o “Disconnected”, que no interesaban de cara a la comunicación con la aplicación de la pantalla del carrito. El código completo está incluido en el Anexo C.

Software del carrito con Visual Basic

El código de programación del programa en Visual Studio es muy extenso y se ha incluido en el Anexo C. A continuación describiremos la interfaz y como interaccionar con ella, aunque únicamente se explicarán los detalles principales, ya que en el Anexo D se ha realizado una simulación del proceso de compra con el prototipo en el que se incluyen todos los detalles y opciones posibles.



Fig. 7.4.18 – Pantalla principal del programa

En la pantalla principal se pueden ver los botones que permiten acceder a las diversas funcionalidades que ofrecerá el software. A continuación vamos a describir cada una de ellas más detalladamente.

Su lista

En esta pantalla el usuario podrá ver la lista de su compra, con información de cada uno de los productos así como el importe total. A medida que vaya escaneando los productos, éstos se añadirán automáticamente a la lista y, además, el último que haya escaneado le aparecerá en la imagen de la derecha.

En la parte derecha se puede ver una foto, la información del producto y su precio. El usuario también podrá modificar las unidades del producto seleccionado desde ahí mismo, introduciendo el número y clicando en Aceptar. A parte de modificar las unidades, también podrá eliminar un producto de su lista, si finalmente no desea comprarlo.

Por último, en la parte inferior, el usuario verá si el peso de su carrito coincide con el peso de los elementos que aparecen en su lista. De esta manera el usuario sabrá si tiene problemas en su carrito o todo transcurre en orden, que será un hecho de vital importancia ya que recordemos que el cliente no podrá efectuar el pago, y por tanto irse, si el peso no es el

correcto. En la esquina inferior derecha se ha habilitado un botón para regresar al menú principal.

Código	Producto	Unidades	Precio	Importe
84109132	Chicles Trident Senses	2	1,5	3,00
8480000107480	Leche Semidesnatada Hacendado 1L	1	0,55	0,55

Leche Semidesnatada Hacendado 1L

Precio: 0,55

Unidades: 1

Importe: 0,55

✓ Aceptar **✗ Eliminar Producto**

El peso del carrito coincide con su lista

TOTAL 3,55

Fig. 7.4.19 – Menú Su Lista

Buscador

Esta pantalla consiste en un buscador de productos y tiene tres funciones diferentes. Por un lado, permite a los usuarios buscar si en establecimiento existe un producto determinado o no. Por otro lado, permite consultar el precio de un determinado producto sin tener que buscarlo en el establecimiento. Por último, permite a los usuarios que intenten escanear un producto y el escáner no les funcione, introducirlos a través de esta pantalla en su lista.

El funcionamiento es muy sencillo, el usuario debe escribir en la parte superior el producto que desee. Al ser la pantalla táctil, se ha creado un teclado integrado en la pantalla que permite escribir a los usuarios sin necesidad de un teclado externo. Además, se ha implementado el programa para que se realice una búsqueda activa de coincidencias a medida que se va escribiendo. El usuario, simplemente clicando encima de un producto en la lista de coincidencias, verá el producto en la parte derecha de la pantalla. Si así lo desea, el usuario podrá introducir el número de unidades que quiere y añadirlas a su lista. Éstas se le añadirán automáticamente a la lista del menú explicado anteriormente.

Buscar: leche

Código	Producto	Precio
8480000107480	Leche Semidesnatada Hacendado 1L	0,55
8480000101372	Pack leche 6 x 1L Semidesnatada Hacendado	3
8411700826661	Pack leche 6 x 1L Entera Puleva	3

3 Registros encontrados!

Leche Semidesnatada Hacendado 1L

Precio: 0,55

Unidades: 1

Añadir a la lista

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

Q W E R T Y U I O P

A S D F G H J K L Ñ

Z X C V B N M . ,

☐ bloq mayús

Espacio

Enter

Borrar todo

Fig. 7.4.20 – Menú Buscador

Ofertas

En esta pantalla el usuario podrá ver las ofertas disponibles en el establecimiento. De esta manera se facilita la información al usuario eficientemente y, probablemente, consultando el menú el cliente se dé cuenta de ofertas que haciendo la compra con el sistema actual no vería. El objetivo es incrementar las ventas de los productos de oferta gracias a este menú.

El funcionamiento es muy sencillo, con las flechas de van pasando las imágenes en las que aparecen las ofertas. Por último, en la parte inferior derecha está el botón para regresar al menú principal.



Fig. 7.4.21 – Menú Ofertas

Pagar

Esta pantalla es la última de las opciones del menú principal. A ella se accederá cuando el cliente desee finalizar la compra, y como se puede ver en la Fig. 7.4.22 se le dará la opción de revisar la lista de productos escaneados antes de proceder con el pago. A continuación, el cliente deberá acudir al puesto de cobro, en el cual se le indicará un código que el cliente deberá introducir en su pantalla. Si el código es el correcto, automáticamente se procederá con la comprobación de peso.



Fig. 7.4.22 – Menú pagar

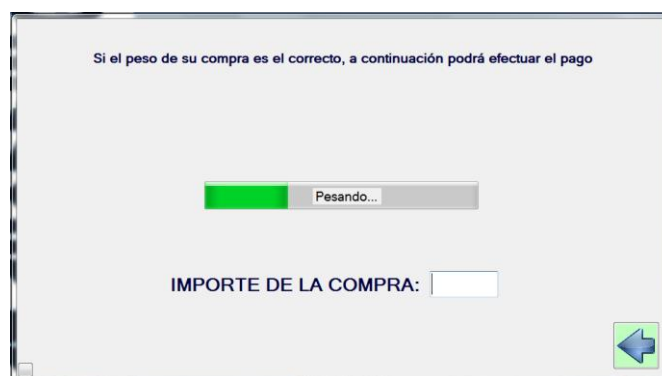


Fig. 7.4.23 – Comprobación por peso

8. Estudio económico

En este capítulo se tratan todos los aspectos económicos relacionados con este proyecto, incluyendo un presupuesto sobre el coste de realización de este proyecto y una estimación económica del precio de una posible la implantación del sistema en una superficie real.

8.1. Presupuesto del proyecto

En el presupuesto de este proyecto podemos diferenciar dos partidas: el coste del trabajo realizado y el coste del prototipo.

Para calcular los honorarios del ingeniero, no se han tenido en cuenta las horas de aprendizaje y búsqueda de información, ya que se supone que el ingeniero ya debe estar preparado cuando afronta un proyecto de este tipo. Entonces, solamente se han tenido en cuenta las horas de diseño del sistema y elección de componentes y las horas de diseño de software e implementación del prototipo.

COSTE HORAS TRABAJO			
Concepto	Horas	Precio/Hora	Importe (€)
Diseño del sistema de cobro	60	50	3000
Elección de componentes	40	35	1400
Diseño del software	60	30	1800
Implementación del prototipo	40	25	1000
TOTAL			7200

Tabla 8.1.1 – Honorarios del ingeniero

A continuación se incluye el presupuesto de los componentes que se han comprado para realizar el prototipo. Únicamente se incluyen aquellos componentes o materiales que se han tenido que comprar, ya que las herramientas e instrumentos de medición se tenían o bien han sido prestados.

PRESUPUESTO DEL PROTOTIPO				
Componente	Modelo	Unidades	Precio unitario (€/ud)	Importe (€)
Balanza	<i>Sinbo SBS-4414</i>	1	12	12
Microcontrolador	<i>Arduino UNO</i>	1	24	24
Adaptador Bluetooth	<i>HC-05</i>	1	14,66	14,66
Amplific. instrumentación	<i>INA125p</i>	1	8,09	8,09
Protoboard		1	9,8	9,8
Placa de prototipado		1	2,84	2,84
			TOTAL	71,39

Tabla 8.1.2 – Presupuesto de los componentes del prototipo

Una vez sumadas las partidas correspondientes a este presupuesto del proyecto, se ha cifrado éste por un valor de 7271,39 €.

8.2. Estimación económica del sistema final

A partir de los componentes que se han seleccionado para el sistema de cobro automático en el apartado de diseño de detalle, se va a realizar una estimación económica del precio de la parte electrónica de éste mismo. Posteriormente se añadirá la estimación económica del diseño mecánico realizada por mi compañero de proyecto, Carlos Darder, y de esta manera se tendrá una idea general de un precio aproximado de lo que costaría el proyecto en su conjunto. Se ha separado la parte electrónica en dos: por un lado, los componentes integrados en el carrito y por otro, los del puesto de cobro.

ELECTRÓNICA DEL CARRO DE LA COMPRA				
Componente	Modelo	Unidades	Precio unitario (€/ud)	Importe (€)
Amplif. Instrumentación	<i>INA125p</i>	1	4,77	4,77
Convertidor A/D	<i>ADS1231</i>	1	4,41	4,41
Microcomputadora	<i>Beaglebone Black</i>	1	45	45
Pantalla táctil	<i>BB View Cape - LCD 7"</i>	1	91,83	91,83
Adaptador Bluetooth	<i>IOGEAR Bluetooth 4.0</i>	1	14,73	14,73
Batería	<i>UL Li-Ion 3,7V 10Ah</i>	2	21,45	42,9
Adaptador de voltaje	<i>REF02</i>	1	2,62	2,62
			TOTAL	206,26

Tabla 8.2.1- Estimación económica de la electrónica del carro de la compra

Según las estimaciones realizadas por mi compañero, el coste de los materiales necesarios para realizar la estructura del carrito en sí, es de 243,92€. Por lo tanto, el coste de un carrito en su conjunto sería de unos 450,18€.

PUESTO DE COBRO				
Componente	Modelo	Unidades	Precio unitario (€/ud)	Importe (€)
Lector tarjetas crédito	<i>Hitachi-Omron V2BF</i>	1	200	200
Fuente alimentación	<i>CP SNT 55W 12V DC</i>	1	100	100
Impresora de tickets térmica	<i>Epson TM-T20</i>	1	139	139
Pantalla táctil	<i>MaxPos DTK-1598</i>	1	171,6	171,6
Puertas automáticas	<i>PNG 390</i>	2	1000	2000
Ordenador TPV		1	600	600
			TOTAL	3210,6

Tabla 8.2.2 – Estimación económica del puesto de cobro

Cabe destacar que los precios de los componentes se han obtenido a través de las webs de los respectivos fabricantes o directamente consultando con algún proveedor. Por lo tanto, suponemos que en realidad se haría algún descuento si realmente se fuera a implantar el sistema y la compra de componentes no fuera unitaria. Por otro lado, el proyecto quizás podría encarecerse si a la hora de ensamblarlo todo surgieran algunos problemas que no se habían tenido en cuenta.

En definitiva, podemos decir que las estimaciones económicas que se han hecho tanto del precio del carrito, cómo del puesto de cobro son aproximadas. Considerando los dos casos anteriormente comentados, se podrían dar variaciones del $\pm 20\%$ del precio estimado.

9. Planificación

El proyecto ha sido llevado a cabo en diferentes etapas consecutivas pero, debido a la naturaleza del proyecto, se han realizado algunas en paralelo. Esto es debido por una parte a las dos grandes partes en que se divide: por un lado, el diseño del sistema real y, por otro, la implementación de un primer prototipo. Además, en este último hay una clara distinción entre tareas de hardware (montaje del prototipo) y las tareas lógicas como la programación.

Como podemos ver en el diagrama de Gantt (Fig. 8.2.1), la planificación que se ha seguido se puede dividir en cinco grandes bloques.

Se empezó con una primera fase de iniciación e introducción, en la que se buscó información sobre los sistemas de cobro actuales y nuevas tecnologías se creía que podían tener una aplicación en el sistema. Además, se realizaron diversas visitas a establecimientos con sistemas de cobro novedosos implantados. De esta manera se pudo hablar con diversos empleados, que nos explicaron cómo funcionaban sus sistemas, qué problemas encontraban a su sistema y qué aspectos creían que se podrían mejorar.

Una vez completada esta primera fase de absorción de información y brainstorming, se empezó con el diseño de diversas alternativas. Tras valorar cada una de ellas se escogió cómo iba a ser el sistema definitivo y el alcance del proyecto.

Por su atractivo y por las ganas de empezar a ver resultados, se empezó a trabajar en el prototipo. Primero creando la aplicación móvil, a continuación con la balanza y finalmente con el software del carrito con Visual Studio. A posteriori se ensamblaron los tres subsistemas creados para su funcionamiento conjunto.

En paralelo con algunas actividades del prototipo se empezaron a escoger los componentes del sistema final, siendo de gran ayuda la experiencia adquirida con la creación del prototipo.

Finalmente se acabó con la redacción de esta memoria en la cual se plasma todo el trabajo realizado.

	Concepto	Fecha inicio	Fecha final
1	Planificación del PFG	6-feb	10-feb
2	Búsqueda sistemas de codificación de productos	6-feb	20-feb
3	Búsqueda sobre el estado del arte	6-feb	20-feb
4	Brainstorming de posibles soluciones	10-feb	17-feb
5	Contacto y visita a algunos establecimientos	10-feb	14-feb
6	Especificaciones del sistema	17-feb	20-feb
7	Diseño conceptual de alternativas	20-feb	1-mar
8	Decisión de la alternativa escogida	1-mar	3-mar
9	Creación de la aplicación móvil	3-mar	20-mar
10	Implementación de la balanza del prototipo	3-mar	20-abr
11	Software del prototipo con Visual Studio	20-mar	17-abr
12	Diseño de detalle del sistema real	7-abr	1-may
13	Ensamblaje de los sistemas del prototipo	17-abr	8-may
14	Redacción de la memoria	8-may	26-jun

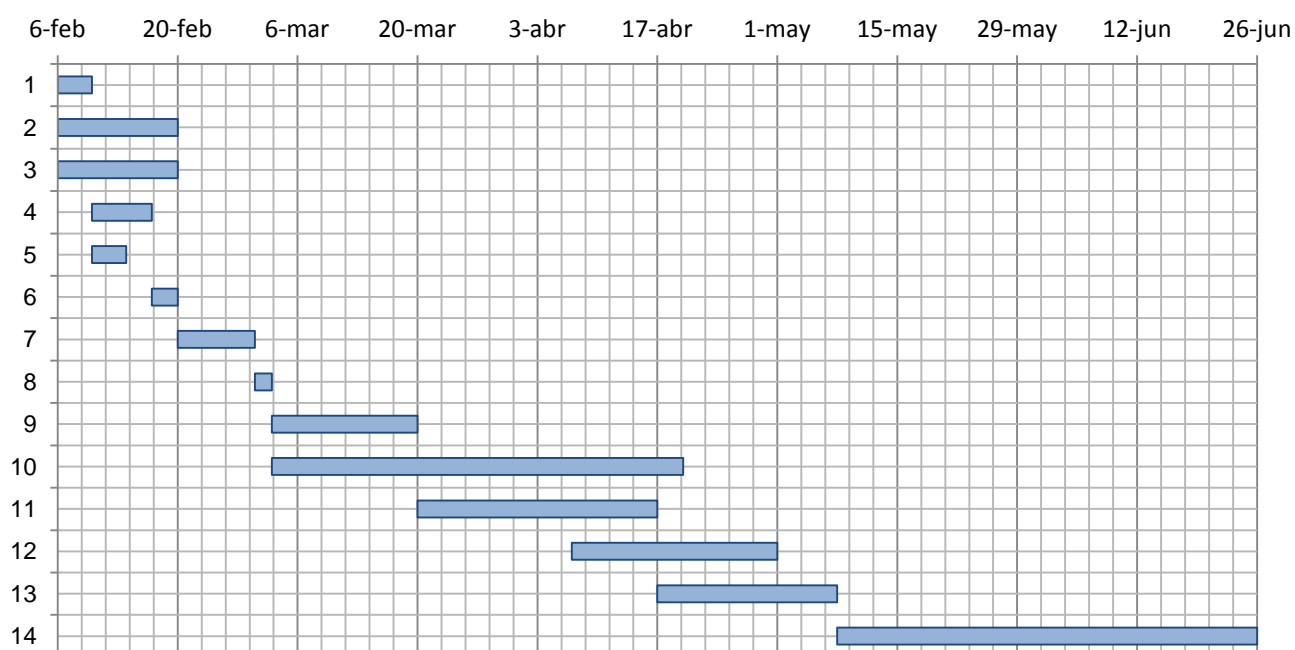


Fig. 8.2.1 - Diagrama de Gantt

10. Impacto medioambiental

Este proyecto está sujeto a las normativas actuales que regulan todo tipo de trabajo con aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Las dos directivas medioambientales que lo regulan son del 2002 aunque recientemente han sido refundidas:

- WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) 2012/19/UE, o en español, Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.
- RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances), 2011/65/UE, en español, Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

En España, la Directiva RoHS junto con la *WEEE* han sido transpuestas al mismo Real Decreto, el R.D. 208/2005. [22]

La directiva *WEEE* pretende promover el reciclaje, la reutilización y la recuperación de los residuos de equipos electrónicos y eléctricos para reducir su contaminación. Responsabiliza a los productores de asumir los costes de gestión de los residuos generados, aunque ello suponga el pago de una tasa de reciclaje por parte del consumidor cuando adquiera el producto eléctrico o electrónico. Si el fabricante está obligado a asumir estos costes al final de ciclo de vida del producto, esto le obliga a replantearse la etapa de diseño con el fin de adaptarla a los requisitos de gestión de residuos y de este modo reducir dichos costes posteriores. En esta etapa inicial será donde intervenga una directiva complementaria, la *RoHS* y en la etapa final, la *WEEE*. La *RoHS* restringe el uso en cierta medida de seis materiales peligrosos en la fabricación de varios tipos de equipos eléctricos y electrónicos. Las sustancias son: Plomo, Mercurio, Cadmio y Cromo IV (metales pesados) y PBB y PBDE (sustancias retardantes de las llamas usadas en algunos plásticos)

Ambas directivas se aplican a los equipos definidos como:

- Electrodomésticos grandes
- Electrodomésticos pequeños
- Equipos de comunicaciones e IT
- Aparatos eléctricos de consumo

- Aparatos de alumbrado, incluidas las bombillas de filamentos
- Herramientas eléctricas y electrónicas
- Juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre
- Máquinas expendedora

*Las baterías no están incluidas dentro del alcance de RoHS.

Vistas estas normativas, se deberá tener en cuenta una recogida selectiva de residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos del sistema diseñado, para su correcto reciclaje. De esta manera se acatará la normativa reduciendo al mínimo la eliminación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos con los residuos urbanos no seleccionados.

Conclusiones

Al principio de este proyecto, surgieron muchas ideas sobre posibles soluciones para realizar un proceso de cobro automático para supermercados, pero todas tenían algún punto débil. Finalmente, se escogió el auto escaneo de productos con el sistema de comprobación por peso como solución final, ya que se creyó que era la opción más completa y con más posibilidades de desarrollo. El punto crítico de esta solución es claramente el sistema de pesado, pero al final mi compañero Carlos Darder ha encontrado una buena solución, aunque con el testeo del primer prototipo se obtendrían mejores conclusiones.

Como en cualquier proyecto o aplicación comercial, en esta primera versión del prototipo que se ha realizado hay elementos que no han podido ser introducidos y otros que han sido substituidos por motivos económicos. Evidentemente, en cuatro meses no se puede realizar todo el diseño teórico e implementar varios prototipos para ir mejorando la solución final. Por lo que en la vida real este proyecto continuaría con la implementación de un prototipo con todos los elementos del sistema final diseñado, para así ver posibles problemas e ir mejorando la solución.

Muchas veces se dice que en la universidad se adquieren muchos conocimientos teóricos, pero no se afrontan los problemas reales que se puede encontrar en su día a día un ingeniero, algo que con la realización de este proyecto sí se ha hecho. El proyecto resume las fases generales del trabajo que puede llevar a cabo un ingeniero. Éste es conocido como una persona que a partir de unos conocimientos, busca soluciones a problemas y necesidades reales desde un punto de vista técnico. Es por esto que la búsqueda de información, la realización de diversas propuestas de solución, el análisis de posibles problemas, la modificación de las propuestas y, finalmente, la implementación de la solución de forma práctica, es su pan de cada día. Unas etapas que, en parte, son las fases que se han seguido para la realización de este proyecto de diseño de un sistema de cobro automático.

Como conclusión final, destacar que este trabajo de final de grado además de permitir aplicar conocimientos y competencias adquiridas durante la titulación, también ha servido para que el estudiante adquiriera grandes conocimientos sobre algunas disciplinas de las cuales no se tenía conocimiento previo alguno. Se ha aprendido a crear una aplicación móvil para Android, a conocer y a programar un Arduino, a realizar aplicaciones para

Windows con el programa Visual Studio, o a utilizar bases de datos de Access en tiempo real, con el aprendizaje de sus respectivos lenguajes de programación que ello implica.

Por todo esto, y por el resultado final satisfactorio del trabajo, se puede valorar muy positivamente la experiencia y conocimientos adquiridos con la realización de este trabajo de final de grado.

Agradecimientos

En este punto me gustaría dar las gracias a todas las personas que han contribuido directa o indirectamente en este proyecto.

En primer lugar, agradecer al director del trabajo, Emilio Angulo Navarro, por su ayuda y sus consejos a lo largo de estos cuatro meses en los que se ha llevado a cabo el proyecto. También agradecer a Maria Magdalena Pastor Artigues, por su ayuda en el tema administrativo y su recomendación del director del proyecto.

También agradecer a mi compañero de proyecto, Carlos Darder Bennassar, por las muchas horas que hemos pasado juntos llevando a cabo el proyecto. Además, gracias a su aportación en el proyecto se ha dotado de una mayor realidad al sistema diseñado, ya que permite ver el resultado físico y el ensamblaje de todo lo diseñado en esta memoria.

Me gustaría agradecer al Departamento de Resistencia de Materiales por permitir el acceso a su laboratorio para desarrollar el prototipo. Más específicamente a los técnicos de laboratorio, Juan Espada Sánchez y Francesc Joaquim García Rabella, ya que la implementación del prototipo se hizo mucho más sencilla gracias a las facilidades que ofrecieron a la hora de prestar todas las herramientas e instrumentos necesarios para trabajar, incluso dando algunos consejos y enseñando algunos aspectos prácticos que desgraciadamente en la Universidad no se suelen aprender.

Por último, no me gustaría olvidarme de mis compañeros de universidad, de mi familia, de mis amigos y de mi pareja, ya que gracias a ellos todo ha sido mucho más fácil. No sólo durante estos cuatro meses de desarrollo del proyecto, sino a lo largo de esta etapa de cuatro años que con este trabajo se cierra.

Bibliografía

10.1. Referencias bibliográficas

- [1] *A todas horas* [en línea]. Barcelona: A todas horas, 2005 - [Consulta: 7 febrero 2014]. Disponible en: < <http://www.atodashoras.com> >
- [2] *Openval* [en línea] - [Consulta: 7 febrero 2014]. Disponible en: < <http://www.openval.es> >
- [3] Sony Hernández, *Tesco presenta "Homeplus Subway Virtual Store"* [en línea]. Blog Clicker360, 2011-[Consulta: 7 febrero 2014]. Disponible en: < <http://www.clicker360.com/blog/2011/07/tesco-presenta-homeplus-subway-virtual-store/> >
- [4] *With the Introduction of RAPTOR, ECRS Looks to Change How Groceries are Purchased* [en línea]. Businesswire, enero 2014 – [Consulta: 7 febrero 2014]. Disponible en: <http://www.businesswire.com/news/home/20140110005796/en/Introduction-RAPTOR-ECRS-Change-Groceries-Purchased#.U7LApvI_uSp >
- [5] *New Computers make grocery carts smarter* [en línea]. USA Today, Chicaco, marzo 2005 – [Consulta: 7 febrero 2014]. Disponible en: < http://usatoday30.usatoday.com/tech/news/2005-05-03-smart-carts_x.htm >
- [6] Jose Andrade, *De compras con el Shopping Navis Wagon de Fujitsu con RFID y LCD* [en línea]. Engadget, enero 2006 – [Consulta: 9 febrero 2014]. Disponible en: <<http://es.engadget.com/2006/01/25/de-compras-con-el-shopping-navis-wagon-de-fujitsu-con-rfid-y-lcd/> >
- [7] *Future Store: Starting Out on the Future of Retailing* [en línea]. Metro Group, abril 2003 – [Consulta: 9 febrero 2014]. Disponible en: < <http://www.metrogroup.de/internet/site/metrogroup/node/164845/Len/index.html> >

- [8] *Woodman's Markets shoppers get fast, easy mobile shopping with NCR Mobile Shopper* [en línea]. NCR, enero 2013 – [Consulta: 9 febrero 2014]. Disponible en:
< <http://www.ncr.com/newsroom/resources/woodmans-market-mobile> >
- [9] *QThru gears up for US expansion as its self-checkout apps for grocery stores go live* [en línea]. The next web, diciembre 2012 – [Consulta: 9 febrero 2014]. Disponible en:
< <http://thenextweb.com/insider/2012/12/04/qthru-is-gearing-up-to-expand-over-the-us-as-its-ios-and-android-apps-go-live/> >
- [10] *Carrefour Scan & Go – Una innovación de la experiencia del cliente* [en línea]. Social Media Experience, junio 2010 – [Consulta: 12 febrero 2014]. Disponible en:
<<http://socialmediaexperience.wordpress.com/2010/06/28/carrefour-scan-go-una-innovacion-de-la-experiencia-del-cliente/>>
- [11] *Scan & Go, Smart shopping at your fingertips* [en línea]. Walmart – [Consulta: 12 febrero 2014]. Disponible en: < <http://wm5.walmart.com/scanandgo/> >
- [12] *Soluciones IBM Self Checkout (Soluciones de Autoservicio)* [en línea]. IBM Retail store Solutions – [Consulta: 15 febrero 2012]. Disponible en:
< <ftp://public.dhe.ibm.com/la/documents/stg/retail/RTB12504-ESES-01.pdf> >
- [13] España. Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre, por el que se establecen normas relativas a las cantidades nominales para productos envasados y al control de su contenido efectivo. *Boletín Oficial del Estado*, 4 de noviembre de 2008, núm. 266 [Consultado: 30 de febrero de 2014]. Disponible en:
< <http://www.boe.es/boe/dias/2008/11/04/pdfs/A43706-43712.pdf> >
- [14] *Beagleboard: BeagleBoneBlack* [en línea]. The official BeagleBone Black Wiki. Disponible en: < <http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack> >
- [15] *Smartphone OS market share* [en línea]. Kantar Worldpanel, 2014 – [Consultado: 20 abril 2014]. Disponible en:
<<http://www.kantarworldpanel.com/smartphone-os-market-share/>>
- [16] Marco Doncel, *Desarrollo de aplicaciones* [en línea]. Startcapps, 2014 - [Consultado: 20 abril 2014]. Disponible en:
< <http://www.startcapps.com/blog/desarrollo-de-aplicaciones/> >

- [17] *Creating Qt-Embedded Projects for Beaglebone* [en línea]. VisualGDB, 2014 – [Consultado: 20 abril 2014]. Disponible en:
< <http://visualgdb.com/tutorials/beaglebone/qt-embedded/> >
- [18] *ArduinoUNO Board* [en línea]. Arduino Official Page. Disponible en:
< <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> >
- [19] *Load Cell Cabling* [en línea]. Revere Transducers, 2002 – [Consultado: 25 marzo 2014]. Disponible en:
< http://revere-transducers.centralcarolinascale.com/Loadcell_Cabling.pdf >
- [20] *MIT Appinventor* [en línea]. Appinventor Official Page. Disponible en:
< <http://appinventor.mit.edu/explore/> >
- [21] *Visual Studio* [en línea]. Visual Studio Official Page. Disponible en:
< <http://www.visualstudio.com/> >
- [22] España. Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 26 de febrero de 2005, núm. 49 [Consultado: 1 de junio de 2014]. Disponible en:
< <http://www.boe.es/boe/dias/2005/02/26/pdfs/A07112-07121.pdf> >

10.2. Bibliografía complementaria

- Información sobre células de carga y los circuitos de adecuación de su señal:
< http://www.ricelake.com/docs/prodinfo/Manuals/load-cells/lch_22054.pdf >
< http://www.societyofrobots.com/robottheory/load_cell_primer.pdf >
< <http://www.ni.com/white-paper/7130/es/> >
< <http://www.semtech.com/images/datasheet/sensing-applications-book.pdf> >
< http://www.analog.com/static/imported-files/product_highlights/PrecisionADCs.pdf >
- Manual de Referencia del Beaglebone Black:
< http://www.adafruit.com/datasheets/BBB_SRM.pdf >

- Tutoriales para aprender a programar en Visual Basic:

< <http://codigofacilito.com/cursos/VB-NET> >

- Conocimientos sobre la lectura con los pines analógicos de Arduino:

Arduino tutorial: < <http://arduino.cc/en/Tutorial/ReadAnalogVoltage> >

AtMega DS: < <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA2560.aspx?tab=documents> >

Arduino reference: < <http://arduino.cc/en/Reference/AnalogReference> >